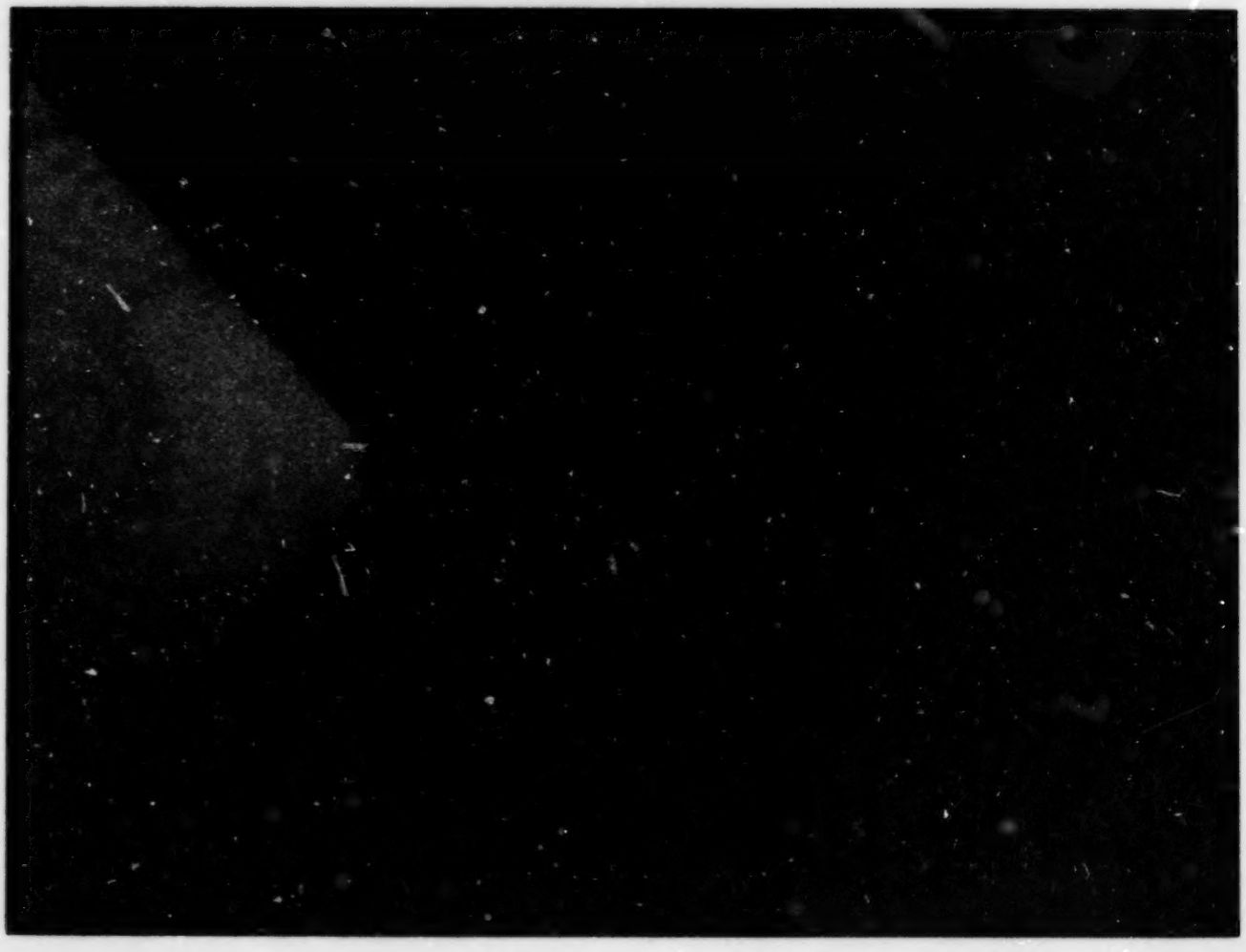
Heat recovery for Canadian food and beverage industries

Agriculture Canada

Publication 5181 E



Canada

Heat recovery for Canadian food and beverage industries

Prepared by
the Food Production and Inspection Branch
and the Marketing and Economics Branch

PUBLICATION 5181E, available from
Communications Branch, Agriculture Canada,
Ottawa K1A 0C7

© Minister of Supply and Services Canada 1984
Cat. No. A15—5181/1984E ISBN: 0-662-13246-7
Printed 1984 2.25M—9:84

Également disponible en français sous le titre
La récupération de la chaleur dans l'industrie des aliments et des boissons

PREFACE

This publication is aimed at those who are interested in energy conservation. It is intended to stimulate the food and beverage processor's interest in waste heat recovery technology. More specific information is available and advice should be sought from qualified engineering staff before making any alterations to your plant and production processes.

This publication, a cooperative effort of the Food Production and Inspection, Marketing and Economics, and Research branches of Agriculture Canada, has been made possible by funding from the Energy Research and Development in Agriculture and Food (ERDAF) program, an Agriculture Canada Contracting-Out program. The ERDAF program seeks to involve the non-government sector by contracting out energy research and development work. It also represents the department's participation in and responsibilities under the National Energy Program's research effort. The ERDAF program is administered from Ottawa under the authority of the Director General — Institutes (Research Branch). Inquiries about the ERDAF program should be directed to:

M. Feldman
Manager, ERDAF Program
Research Branch, Agriculture Canada Arboretum Building
Central Experimental Farm
Ottawa
K1A 0C6

The authors wish to thank all the contributors to this publication, principally those companies which agreed to be cited in the case studies.

The Government of Canada and its employees make no warranty, expressed or implied, and assume no legal liability for contents or procedures outlined in this document. Inclusion of material in this publication is not intended to represent an endorsement by the federal government.

CONTENTS

SUMMARY / 4
INTRODUCTION / 5
WHAT IS WASTE HEAT? / 6
WHAT IS HEAT RECOVERY? / 6
WHAT IS A HEAT EXCHANGER? / 6
CHARACTERISTICS OF HEAT EXCHANGERS / 6
FACTORS TO CONSIDER WHEN CHOOSING A HEAT EXCHANGER / 7

BASIC TYPES OF HEAT EXCHANGERS / 8
— Plate heat exchanger / 8
— Shell and tube heat exchanger / 9
— Finned tube heat exchanger / 9
— Spiral heat exchanger / 10
— Tubular heat exchanger / 10
— Scraped-surface heat exchanger / 11
— Heat wheel or rotary generator / 12
— Heat pipe / 12

SPECIFIC TYPES OF HEAT EXCHANGERS / 14
— Economizer / 14
— Waste heat boiler / 14
— Combustion air preheater / 15
— Air-to-air plate exchanger / 16
— Runaround system / 16

HEAT PUMP / 17
THERMAL ENERGY STORAGE / 17
FOULING / 17
FREEZING / 17
SAFETY AND CONTROL SYSTEMS / 18
REGULATIONS, CODES AND STANDARDS / 18

INDUSTRY SECTOR PROFILES OF WASTE HEAT AVAILABILITY / 18
— Red meat processing / 18
— Poultry processing / 19
— Fruit and vegetable processing / 19
— Dairy processing / 19
— Biscuit manufacturers and bakeries / 19
— Egg processing / 19

FINANCIAL ANALYSIS OF INVESTMENT IN HEAT RECOVERY EQUIPMENT / 20
The steps of financial analysis / 20

CASE STUDIES / 21
Case study no. 1 — rendering cookers / 21
Case study no. 2 — steam plant flue gases / 24
Case study no. 3 — poultry scalder and desuperheater / 24
Case study no. 4 — hog singer / 26
Case study no. 5 — fruit and vegetable processing / 27
Case study no. 6 — bakery oven heat recovery / 27

CONCLUSION / 28
Potential of heat recovery / 28

SUMMARY

In food and beverage industries, energy is often discarded in the atmosphere or disposed of in waste streams. Now, in an age of high energy costs, one of the most effective ways to reduce energy consumption is to make use of waste heat. Waste heat is defined as the heat contained in a fluid rejected from a process at a temperature higher than ambient levels in the plant. The utilization of waste heat offers several advantages over other energy sources: it is present at the plant site, it is available during the plant's operating season, it may reduce environmental pollution problems, and it may eliminate the need for cooling towers.

The practicality of heat recovery depends on the plant having operations or streams at lower temperatures that can actually use the recovered heat, the amount of waste heat available, the ease of implementing and maintaining the heat recovery system, the schedule of availability of waste heat and the cost of installing the system required.

The direct recirculation of heat permits the recovery of almost 100% of the waste heat. Because this is not always feasible, the installation of heat recovery equipment, known as heat exchangers, is necessary. A heat exchanger is a system that separates the waste heat stream from the fluid to be heated but allows heat to flow across the system's separation boundaries (it transfers heat from one fluid to another without mixing the fluids). This is possible because a temperature difference exists between the two fluids.

To install heat recovery equipment in existing situations in which waste heat is expelled, a number of details must be carefully evaluated to decide on the technical and financial feasibility of any project.

First, the characteristics of waste heat streams and the potential operations which will receive the wasted heat must be determined:

— the average temperatures and their ranges;
— the flow volume of the fluids;
— the schedule and duration of flow;
— the proximity of the source and the heat receiver;
— the properties of the fluids (e.g., viscosity, nature of dirt and contaminants, requirements for cleanliness or purity, and likelihood of fouling).

Second, the necessary operating characteristics of the heat recovery system must be evaluated:

— the maximum and average operating heat exchange capacity;
— the minimum useful capacity;
— the pressures and their ranges;
— the need for backup or alternative systems if a disruption of either the source, the heat exchanger or the receiving operation occurs;
— the need for cleaning outflows or inflows of fluids;
— the ease, frequency and rapidity of startup, turndown and shutdown;
— the adequacy of control and monitoring systems;
— the side effects on other systems such as reduced requirements for existing heaters or boilers;
— the potential for thermal storage.

This evaluation will enable users to select appropriate equipment for the situation and calculate installation costs, systems connections, controls and monitors. Simple installations can be done with off-the-shelf equipment and in-house expertise or with the advice of equipment suppliers. In more complex situations, the specialized help of consulting engineers may be required.

When selecting heat recovery equipment it is useful to know the names, addresses and product lines of prospective equipment suppliers. Directories enable users to select equipment suppliers who have experience with equipment related to their industry.

Thermal storage systems can often make heat recovery feasible if the waste heat production occurs at a different time or rate than energy consumption of the recipient fluid. Energy is usually stored in the form of heated liquid, with water being the preferred storage medium due to its low cost and high specific heat.

Contamination of potable water and food products in food and beverage plants must be prevented. The adoption of safety control measures should therefore be an important consideration. Provision should be made to bypass the heat recovery system so that the process can continue its operation if there is a malfunction. With regard to the regulatory aspect of using heat exchangers in a food plant, the guideline states that a heat exchanger in contact with potable water or a food product should be made of a non-absorbent, corrosion-resistant material capable of withstanding repeated cleaning and disinfection but that will not contaminate the water or food, or transmit toxic substances, odor or taste.

The amount of waste heat available in a plant varies widely from sector to sector in the food industry owing to the different processes and energy requirements involved. There are also substantial differences in waste heat from plant to plant within each sector due to such factors as product concentration, continuous or batch operation, plant size and location. The actual amount of potentially useful waste heat can only be revealed by a comprehensive audit of the plant's energy consumption. There is no specific type of industry precluded from the potential benefits of heat recovery; each industry has the potential to benefit from this technology.

The technical review of equipment and options allows the food processor to evaluate whether heat recovery is technically feasible and which pieces of equipment will do the job required. The food processor must then decide whether the operation is also financially feasible and, if so, which piece of equipment is best suited to the plant's needs.

Financial feasibility means that the operation should save money and increase the firm's profits. The heat exchangers should save money for the firm given the present energy prices; financial returns will improve as energy prices increase. An investment that is technically feasible may or may not be financially viable. There are many factors that may make or break an investment in a heat exchanger. Some of these factors are the current and future energy prices, interest rates, tax effects, and capital cost of the equipment.

Financial analysis is done to evaluate all of these concerns. It brings together the technical evaluations and the decision criteria for financing operations. Economic analysis is generally done to solve the problems of evaluating current investment opportunities. The analysis should be performed in such a way as to enable decision makers to evaluate the effects of changing conditions on the decisions made. A sensitivity analysis is then done by varying the assumptions to determine their singular or combined effect on the conclusions. In this way, risk and uncertainty can be evaluated.

There are many opportunities for investing in heat recovery equipment that may require either small or large investments. In both cases, after a thorough technical and financial analysis, the investment may pay back well and provide an acceptable rate of return in line with the basic investment criteria of the firm. The case studies appearing in this report show the benefits encountered by Canadian food industries that invested in heat recovery equipment.

The potential for heat recovery has been evaluated in a report prepared for Energy, Mines and Resources Canada. This report indicates that 12.5% of the total energy consumed by food and beverage industries is practicably recoverable by using present heat recovery techniques. Given this large potential and possible benefits from recovering the waste heat in food and beverage industries, it is important to undertake assessments of the application of new heat recovery technology. Assessments must be both technical and economic, and permit comparisons with other investment opportunities.

INTRODUCTION

In food and beverge industries, energy is often discarded into the atmosphere or disposed of in waste streams. In the past, this dumping of excess energy via drains, sewers, vents and smokestacks was easy and economical. Now, in an age of high energy costs, food and beverage processors are searching for ways to save money through energy conservation. One of the most effective ways of reducing energy consumption is to use waste heat.

WHAT IS WASTE HEAT?

Waste heat is defined as the heat contained in a fluid rejected from a process at a temperature higher than the ambient levels of the plant. Fluids that exist at temperatures lower than ambient levels are also a form of waste energy that can be used for cooling.

There are numerous sources of waste heat in the food processing industry. Cooking, retorting, pasteurizing and ventilating processes as well as refrigeration systems generate a great deal of waste heat. In addition, hot water is often wasted because it is frequently flushed to the sewer after being used only once.

WHAT IS HEAT RECOVERY?

Heat recovery involves the transfer of waste heat to another medium (such as air or water) and/or process where it can be used later. The practicality of heat recovery depends on whether the plant has processing operations or streams at a lower temperature that can actually use the recovered heat. It also depends on the amount of heat available (temperature, flow rate, availability of the waste heat), the ease of implementing and maintaining the heat recovery system, and its cost and returns. General applications include heating or cooling of process fluids and other fluids: for example, heating boiler feedwater, preheating washwater, precooling or preheating product, and heating or cooling incoming ventilation air.

Utilization of waste heat offers advantages over other energy sources: it is present at the plant site, it is available during the plant operating season, it may reduce environmental pollution problems, and it may eliminate the need for cooling towers.

WHAT IS A HEAT EXCHANGER?

The most efficient way to recuperate heat is by removing contaminants from the fluids and then directly recirculating the waste heat stream. This method allows for almost 100% recovery of the waste heat. However, since direct recirculation is often impossible or infeasible, the installation of heat recovery equipment, or heat exchangers, is necessary.

A heat exchanger system separates the waste heat stream from the fluid to be heated. It allows heat to flow from one fluid to another across the separation boundaries without mixing the fluids. The heat transfer occurs because a temperature difference exists between the fluids.

The two streams should be separated for either of the following reasons:

— to prevent one stream from contaminating the other (extremely important in food processing, especially in terms of avoiding contamination of potable water or the food product);
— to palliate a pressure difference that may exist between the two streams.

It may be necessary, in some situations, to use a third fluid. For example, an intermediate stream could be used to transport the waste heat over long distances when the source and exchanger are far apart.

CHARACTERISTICS OF HEAT EXCHANGERS

There are many types and characteristics of heat exchangers. With respect to heat transfer fluids, heat exchangers can be classed into three groups: gas/gas, gas/liquid, and liquid/liquid.

The two fluids within the heat exchanger can flow in parallel (both fluids flowing in the same direction), countercurrent (both fluids moving in parallel but opposite directions) or crosscurrent directions (both fluids flowing at right angles to each other). The flow can also be single or multipass (i.e., the heat transfer fluids pass over the heat transfer surface one or more times).

FACTORS TO CONSIDER WHEN CHOOSING A HEAT EXCHANGER

To install heat recovery equipment in situations where waste heat is being expelled, a number of details must be carefully evaluated in order to decide on the technical and financial feasibility of any project.

First, the characteristics of the waste heat streams and the potential heat receiving operations must be determined:

— the average temperatures and their ranges;
— the flow volume of the fluids;
— the schedule and duration of flow;
— the proximity of the source and the heat receiver;
— the properties of the fluids (e.g., viscosity, type of dirt or contaminants, requirements for cleanliness or purity, and likelihood of fouling).

Second, the necessary operating characteristics of the systems and the heat exchangers must be evaluated:

— the maximum and average operating heat exchange capacity;
— the minimum useful capacity;
— the pressures and their ranges;
— the need for a backup or alternative system if a disruption of either the source, the heat exchanger or the receiving operation occurs;
— the need for cleaning inflows or outflows of fluids;
— the ease, frequency and rapidity of startup, turndown and shutdown;
— the adequacy of control and monitoring systems;
— the side effects on other systems (e.g., reduced requirements from existing heaters or boilers);
— the potential for thermal storage.

This preliminary analysis will enable the user to identify appropriate equipment for the situation and calculate installation costs, systems connections, controls and monitors. Simple installations can be done with off-the-shelf equipment, in-house expertise and the advice of equipment suppliers. In more complex situations, the specialized help of consulting engineers may be required.

When selecting heat recovery equipment, it is useful to know the names, addresses and product lines of prospective equipment suppliers. Directories enable users to select experienced equipment suppliers with equipment related to their industry. Two excellent directories are available:

1) *1983 Canadian Directory of Energy Conservation Products and Suppliers*, published by and available from:

Energy Conservation and Oil Substitution Branch
Energy, Mines and Resources Canada
580 Booth Street
Ottawa
K1A 0E4

or any of the department's Conservation and Renewable Energy Offices.

2) *Food in Canada:* "1984 Buyer's Directory," Vol. 43, No. 10, October 1983

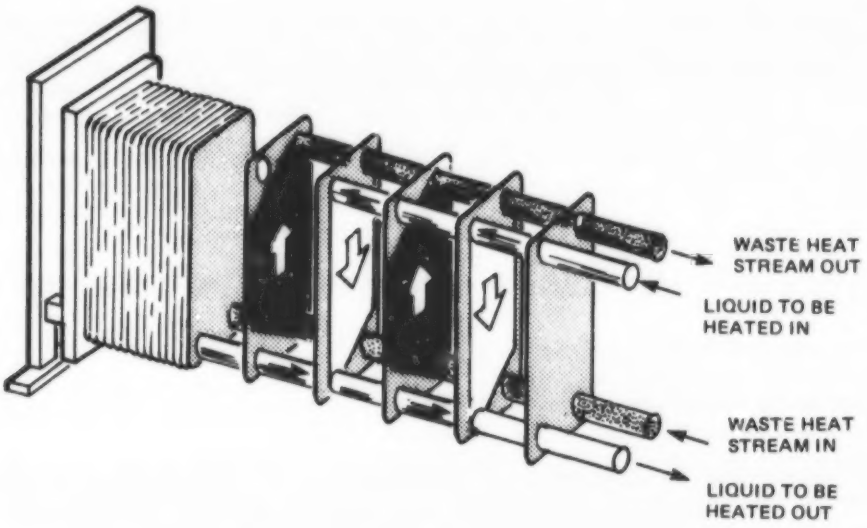
available from: Food in Canada
Maclean Hunter Ltd.
777 Bay Street
Toronto, Ontario
M5G 2C8

BASIC TYPES OF HEAT EXCHANGERS

This section outlines the basic types of heat exchangers most used for heat recovery in food and beverage industries.

Plate heat exchanger

This gas/gas or liquid/liquid heat exchanger is a system that consists of a metal frame in which a variable number of corrugated metal sheets are clamped together. Adjoining plates are spaced apart and sealed against leakage and intermixing by gasketing. The two fluids flow in alternate interplate channels, usually in a countercurrent direction. Plate corrugations produce turbulence and an increased surface area, thus providing high heat transfer and high effectiveness.



1. Plate heat exchanger

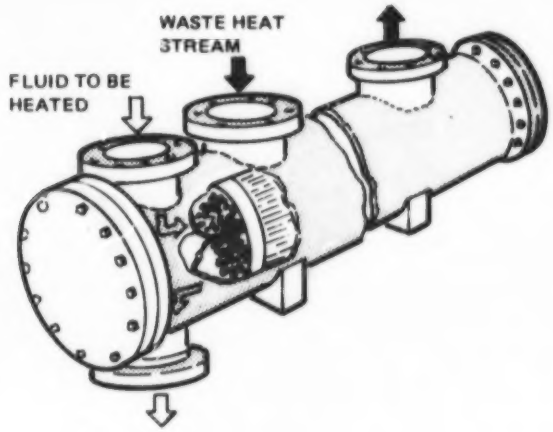
Plate heat exchangers are the simplest and easiest to clean, inspect and maintain as there is quick access to heat transfer surfaces for cleaning and inspection. They are also easy to clean in place (C.I.P). For these reasons plate heat exchangers are a suitable choice for an application that directly involves potable water or the food product. They are generally limited to liquids with less than 5% solid particle content and particle sizes below 1 mm in diameter.

A regenerative pasteurizer, used in the dairy and egg processing industries, for example, includes a heat recovery device consisting of a liquid/liquid plate heat exchanger. The hot product that comes out of the pasteurizer preheats the incoming cold product and is itself cooled.

Specific applications for a plate heat exchanger include preheating boiler feedwater with hot wastewater, preheating scalder inlet water with scalder overflow, or using wastewater from a blancher to heat potable water.

Shell and tube heat exchanger

This gas/liquid or liquid/liquid heat exchanger consists of a bundle of small, parallel tubes contained within a cylindrical shell.



2. Shell and tube heat exchanger

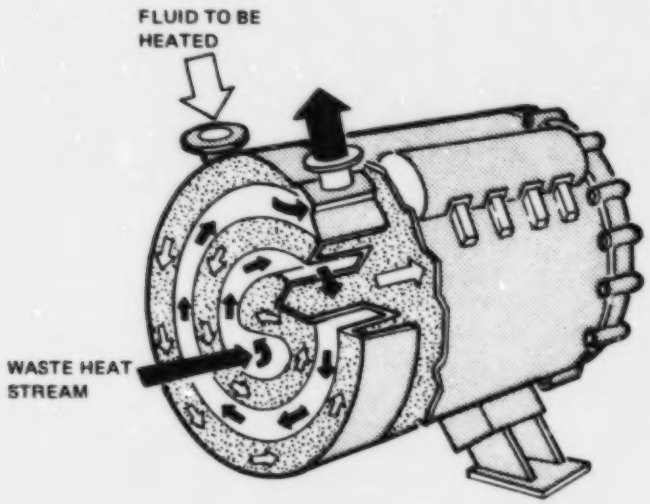
One fluid flows through the tubes and the other through the shell and over the tube bundle. When a vapor containing the waste heat is used to heat a liquid, the vapor flows through the shell, while the liquid to be heated flows in the tubes. A removable tube bundle makes the heat exchanger easier to clean, although the tubes themselves may still be difficult to clean. This type of heat exchanger is most often used for non-food processing steps as both the shell and the tubes can be difficult to inspect. These heat exchangers are restricted to solutions with a low solid particle content. Waste heat recovery applications include heating water with the heat released by the condensers in refrigeration systems, heating water by using the vapor discharged from inedible rendering cookers, or heating scalder inlet water with scalder overflow. Also, one of the most common is boiler blowdown heat recovery.

Finned tube heat exchanger

This gas/liquid heat exchanger consists of a bundle of tubes through which the liquid to be heated flows and over which flow exhaust gases containing waste heat. Fins attached to the tubes provide additional surface area for transferring waste heat. This heat exchanger is used for heating water for all kinds of uses, such as for boiler feedwater or as hot water for cleanup (see "Economizer").

Spiral heat exchanger

This heat exchanger consists of two relatively long plate metal strips that are concentrically rolled to form a pair of separate leakproof spiral channels.

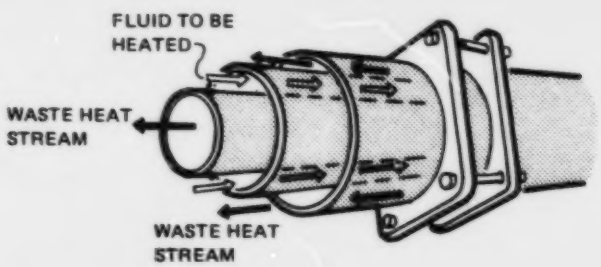


3. Spiral heat exchanger

Compared with shell and tube units, spiral heat exchangers offer greater compactness, negligible maintenance, easy accessibility for inspection and cleaning, and low fouling characteristics. This type of exchanger is frequently used for handling fouled cooling water and is effective for recovering the heat from atmospheric pressure steam. For example, a spiral heat exchanger could be used to condense atmospheric steam from open cookers to heat hot water for plant cleaning operations.

Tubular heat exchanger

This is a liquid/liquid or gas/liquid heat exchanger consisting of two or three concentric tubes. The heating or cooling fluid flows through the inner tube, and the product to be heated or cooled flows in the second tube. If three tubes are used, the heating or cooling fluid flows in the outer tube as well.

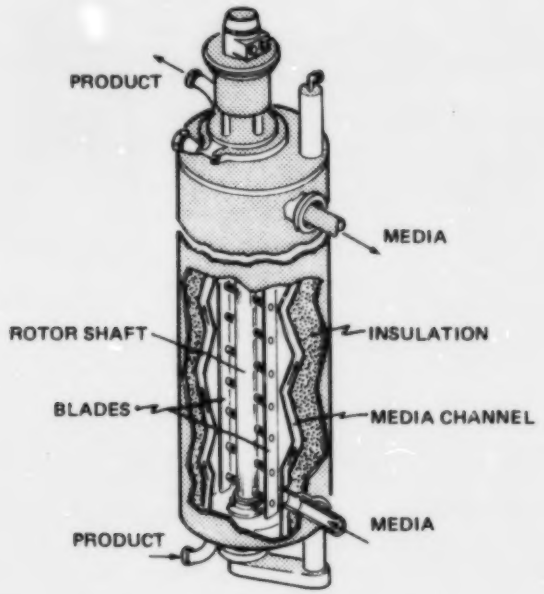


4. Tubular heat exchanger

This type of exchanger must be completely dismantled when an inspection for leakage or fouling is needed. Although these exchangers can be difficult to maintain, they are easily cleaned in place. Heat recovery applications include those that involve a viscous liquid or a liquid with particulate matter. When liquids are used, the permissible solid particle content may be as high as 40%.

Scraped-surface heat exchanger

The scraped-surface heat exchanger consists of a rotating bladed shaft positioned concentrically within a jacketed, insulated tube. The product flows in the inner tube, where it is continuously agitated and removed from the walls by the blades. Heating or cooling fluid flows in the annular space between the heat transfer cylinder and the outer insulated tube.

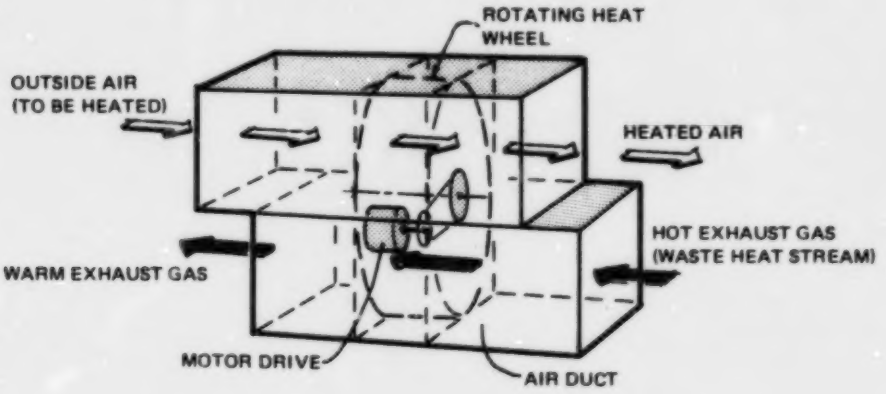


5. Scraped-surface heat exchanger

Scraped-surface heat exchangers are designed for heavy-fouling products and for crystallization processes and can handle a product containing as much as 75% solid particles. This type of exchanger can be positioned horizontally or vertically. Cleaning and inspection are accomplished by lowering or sliding the rotor and blade assembly.

Heat wheel or rotary regenerator

This gas/gas heat exchanger consists of a large porous disc made of high heat capacity material (e.g., stainless steel mesh, ceramic), which rotates between two side-by-side counterflow air ducts, one for cold air, the other for hot. As the wheel turns, it first absorbs heat from the warmer air stream and stores it temporarily. The wheel then comes into contact with the cooler air stream and transfers the heat to it.



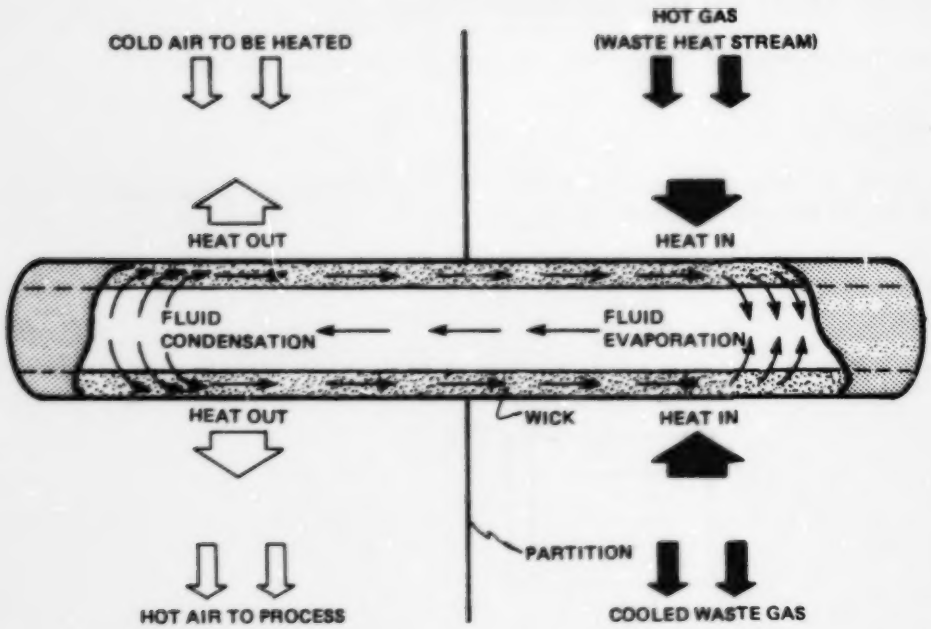
6. Heat wheel or rotary regenerator

Applications include preheating the incoming ventilation air and incoming air in dryers and ovens with exhaust air.

Heat pipe

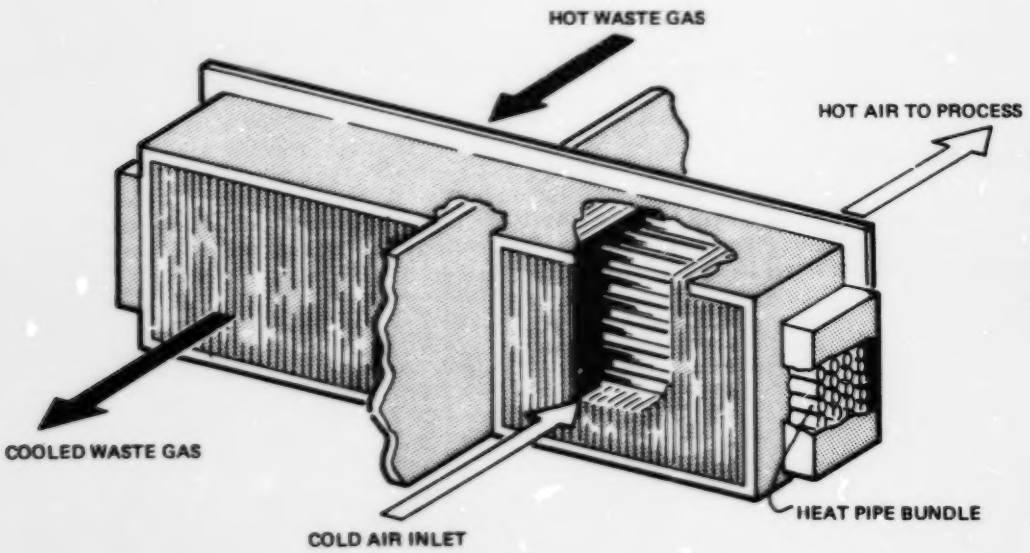
This gas/gas or gas/liquid heat exchanger consists of a sealed metal tube containing a heat transfer fluid and an annular capillary wick.

Heat absorbed from hot exhaust gases evaporates the fluid at one end of the pipe. The vapor moves to the cold end of the pipe, where it condenses and gives up its latent heat, thereby heating the cold fluid. The condensed fluid then returns by capillary action to the hot end of the pipe and is thus continuously recycled.



7. Heat pipe

Heat pipes are usually incorporated into bundles in which each pipe extends across two ducts, one containing warm fluid and the other cold. This heat exchanger does not allow cross-contamination. Applications include preheating air for dryers and ovens and preheating combustion air for boilers.



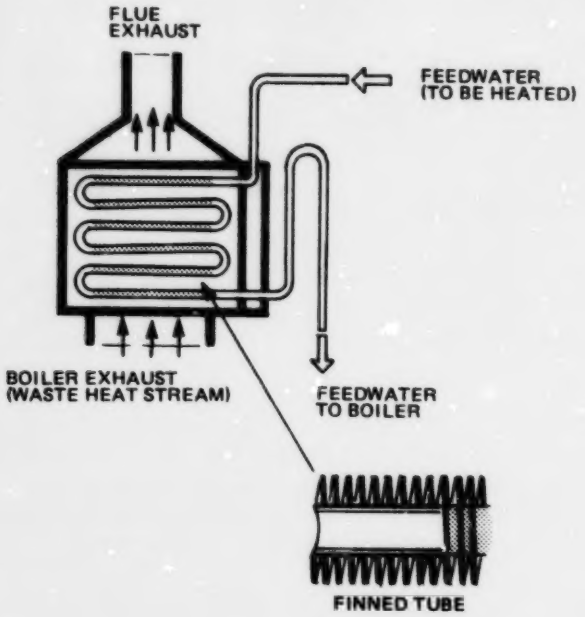
8. Heat pipe system

SPECIFIC TYPES OF HEAT EXCHANGERS

There are many variations of the basic heat exchangers described above, such as:

Economizer

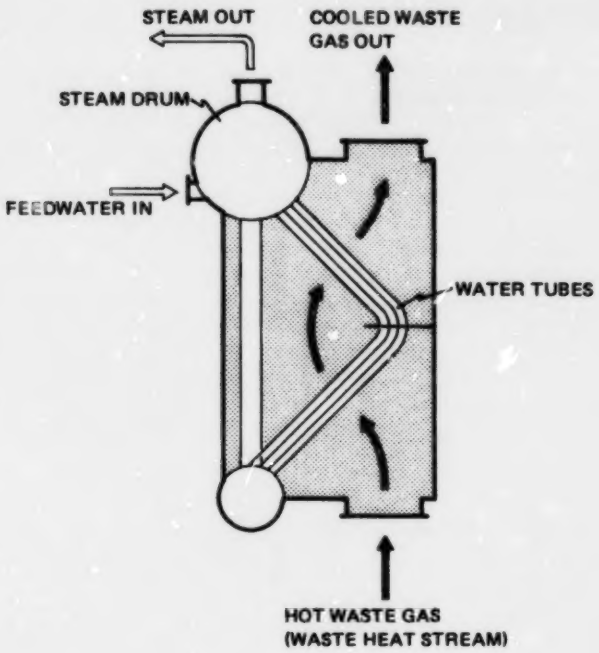
An air-to-water heat exchanger consisting of a bank of finned tubes installed in a flue and used to transfer heat from the hot flue gases to water pumped through the tubes. The heated water is used for boiler feedwater.



9. Finned tube economizer

Waste heat boiler

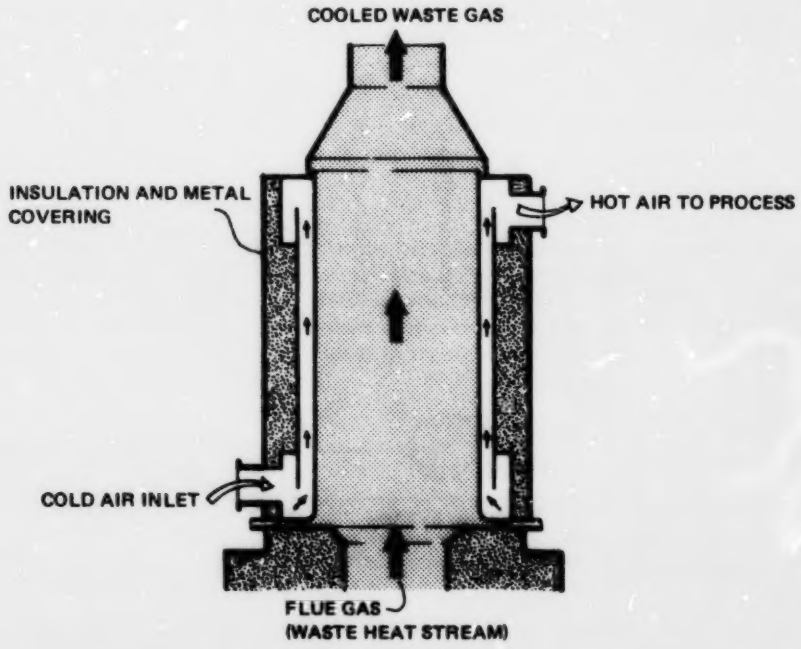
A heat exchanger in which hot exhaust gases pass over parallel tubes containing water; the water vaporizes and is collected in a steam drum from which it is drawn off for processing or heating. This device can be used to recover heat from hog singer flue gases.



10. Waste heat boiler

Combustion air preheater

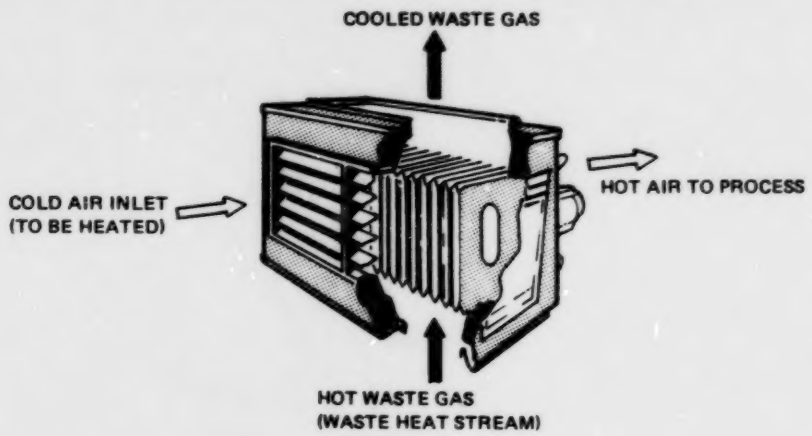
A gas-to-gas heat exchanger that recovers waste heat from the hot flue gases of a furnace to heat incoming air for combustion.



11. Combustion air preheater

Air-to-air plate exchanger

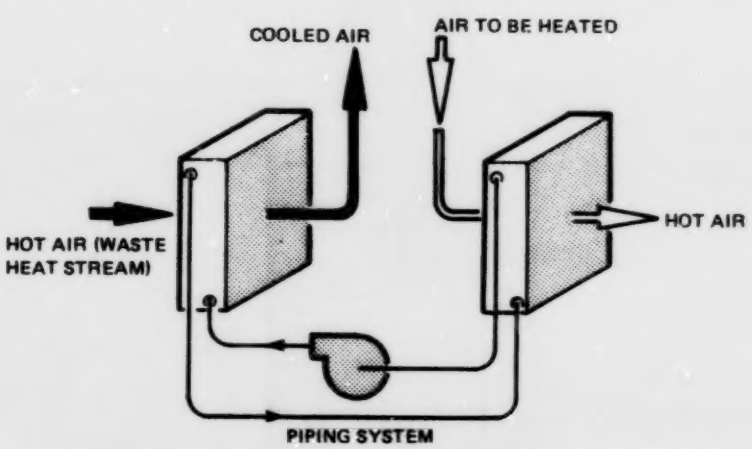
It consists of a series of alternate channels that allow the hot and cold gases to flow close to each other, separated only by a thin wall of conductive metal. Proper sealing and gasketing will prevent cross-contamination and the unit can be easily cleaned, maintained and inspected. Applications include heat recovery from baking, drying and curing ovens, and from heating and ventilation systems.



12. Air-to-air plate heat exchanger

Runaround system

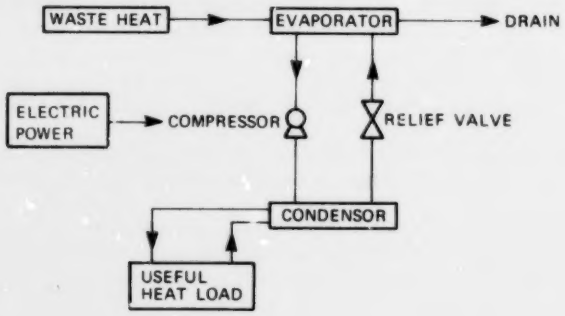
A gas-to-gas heat exchanger consisting of a closed insulated piping system through which a heat transfer fluid (often glycol) is pumped. This intermediate fluid picks up heat in coils or finned tubes installed in the hot exhaust air stream and rejects heat by way of coils into the cold incoming air stream. Leakage from one air stream to another is thus eliminated. This system can be used when the waste heat source and its application are far apart or when heat is to be collected from several sources. The runaround system could be used to recover heat from the exhaust air of a dryer to heat the intake air.



13. Runaround system

HEAT PUMP

Heat exchangers can be classified as passive devices, as they do not require an external energy source to accomplish heat transfer. Instead, they depend on a temperature gradient to cause the transfer from an area of high energy concentration (heat source) to an area of low energy concentration (cooler sink). However, there are potential situations in food and beverage industries where the temperature of the waste stream is lower than that of the heat-receiving operations. This is where an active device, a heat pump, could be used for the energy exchange. Heat pumps use an external energy source to increase the temperature of the recovered waste heat. This system works basically as a refrigeration cycle in reverse. The liquid in the evaporator absorbs heat from the waste heat source and vaporizes; the vapor is then compressed to a high pressure. From there it goes to the condenser, where this previously absorbed energy is given up to the fluid to be heated. Since new heat pumps are capable of reaching temperatures above the boiling point of water, many potential applications such as direct steam generation or heating cleanup water can be considered.



14. Heat pump

THERMAL ENERGY STORAGE

Storage systems can often make heat recovery feasible if the waste heat production occurs at a different time or rate than the energy consumption of the receiving operation. The storage of the recovered thermal energy will permit uncoupling of the production of waste heat from the ultimate user process. Thermal energy is usually stored in the form of heated liquid, water being the preferred storage medium in food processing because of its low cost and high specific heat. For example, the recovered energy from a refrigeration condenser could be stored as hot water in an insulated tank and be used for heated plant washwater later in the day.

FOULING

Fouling is the buildup of deposits, over time, on the heat exchanger surfaces due to exposure to the fluids. These deposits can consist of residues, chemical corrosion or mineral deposits. It is very important to consider this aspect in order to properly choose the right heat exchanger to handle the full load. Fouling can greatly reduce heat transfer capacity and increase pressure drop. Frequent cleaning and maintenance are therefore required, since fouling and the difficulty of cleaning increase over time. Filtration may be required to remove contaminants from the waste heat stream.

FREEZING

Freezing problems can occur during the winter when air-to-air heat exchangers are used to preheat outside air. If outside air is relatively cold and exhaust air is warm and humid, freezing of condensation on the warm side of the exchanger may occur and completely block the air passage. To solve this problem, defrost controls will be required, which will reduce overall effectiveness.

SAFETY AND CONTROL SYSTEMS

In food processing plants, contamination of potable water and food products must be prevented. There should be a provision to bypass the heat recovery system so that the process can continue its operation if there is a system malfunction. Controls for the heat recovery systems should be compatible with the instrumentation.

Heat exchangers are checked for leaks by a variety of tests in the factory. However, in some cases, a leak may eventually develop because of such things as gasket failure or stress fractures. For this reason, if potable water or a food product is involved, monitoring and control systems (such as pH monitoring or differential pressure sensing) should be installed for detection of leaks and prevention of cross-contamination. Indicators of a system malfunction should be tied into process control and alarm networks if available.

REGULATIONS, CODES AND STANDARDS

Local and national codes and standards for heat exchangers exist in every country. Most often, the mechanical design is more closely regulated by codes and standards than the thermal design. These codes and standards are established to regulate and specify the design, manufacture and operation of heat exchangers in order to protect the public interest (safety). However, they tend to be more concerned with large and complicated devices operating at elevated pressures rather than simpler devices most common to the food industry.

Concerning legal requirements for food safety, The Food and Drug Act, Part I, Section 4, states: "No person shall manufacture, prepare, preserve, package, or store for sale any food under unsanitary conditions."

With respect to the meat industry, the *Meat Hygiene Manual of Procedures* (see "Equipment" in Chapter 2.7) points out: "In the effective control of operation sanitation, nothing is more important than simply designed and easily cleaned equipment of non-corrosive and rust-resistant material."

Many heat recovery applications involve non-food processing steps. In these instances there is no real concern about contamination. However, a general guideline to follow is that if the heat exchanger is to be in contact with potable water or a food product, it should be made of a non-absorbent, corrosion-resistant material capable of withstanding repeated cleaning and disinfection but that will not contaminate the water or food or transmit toxic substances, odor or taste ("Code of Practice — General Principles of Food Hygiene," *Codex Alimentarius* Commission).

INDUSTRY SECTOR PROFILES OF WASTE HEAT AVAILABILITY

The amount of waste heat available in a plant varies widely from sector to sector in the food industry owing to the different processes and energy requirements involved.

There are also substantial differences in waste heat from plant to plant within each sector due to such factors as product concentration, continuous or batch operation, plant size and location. The actual amount of potentially useful waste heat can only be revealed by a comprehensive audit of the plant's energy consumption.

However, in each sector there are general opportunities and applications for waste heat recovery. These are briefly discussed below for various sectors of the food industry.

Red meat processing

Waste heat availability is highly dependent on the type of processing plant. In a slaughterhouse, the major energy use is for refrigeration of carcasses. If by-products are processed, by-product rendering is also a major energy user. In beef slaughtering, another major energy consumer is the cleanup operation, which uses large quantities of hot water. In hog slaughtering, the hair removal process (scalding, dehairing, singeing) uses a large amount of energy.

Recovery of waste heat from refrigeration systems and by-product dryers is practical, while that from rendering cookers is possible but more difficult because of the grease in the cooker's exhaust. Recovered energy could be employed for heating hot water used for cleanup, or for preheating boiler feedwater or intake air for dryers.

The hog singeing operation provides a relatively clean high temperature source of waste heat, as more than 90% of the input is vented into the atmosphere. This waste heat could provide a significant fraction of the

energy requirements of the scalding/dehairing process. Recovery of heat from hog scalder overflow water is also possible.

The production of processed meats involves many unit operations (cooking, smoking, cooling, etc.) and is usually more energy-intensive than slaughtering. Large energy uses are associated with refrigeration and smoking/curing of the product. Major sources of waste heat are condenser heat, wastewater, cooking and smoking vents. Again, recovery of heat from wastewater and from cooker exhaust may be difficult because of the grease in the exhaust.

Poultry processing

In poultry processing, large quantities of energy are required for scalding, cooling and freezing. The scalders and chillers have continuous overflow, and thus large amounts of energy are lost. However, recovery of heat (or cooling capacity) from scalders (or from chillers) is feasible, and the energy can be returned to the scalders (or chillers). Heat can also be recovered from refrigeration system condensers and used to preheat boiler makeup water or washwater.

Fruit and vegetable processing (freezing and canning)

Although the percentage of waste heat does not differ greatly between freezing and canning plants, the sources of the waste streams do. In freezing plants, the major source is the refrigeration system condensers. Heat is available from the hot refrigerant and should be easily recoverable. A second source is wastewater; however, waste heat from it is of low quality and solid particles in the wastewater might cause fouling problems in heat exchangers. Individual hot waste streams may offer some recovery potential if they are intercepted prior to mixing with the main waste flow.

In canning plants, the major waste heat sources are retort vents and wastewater. Heat from retort vents can be recovered, but no back pressure should be applied to these vents, since free flow of steam is essential during venting to ensure that adequate thermal processing of cans will be accomplished.

Waste heat can be used at numerous points in the plant. Water heating for can washing, blancher makeup water, plant cleanup and boiler feedwater are potential applications.

Dairy processing

Dairy processing plants usually use energy efficiently. Heat transmitted to milk products during pasteurization is normally rejected to incoming cold milk in the regenerator. A large percentage of waste energy is in the heat rejected by the refrigeration condensers. It can be used in generating hot water for use in cleanup, in preheating boiler feedwater, or in heating culture tanks for some unit operations. Wastewater and exhaust from spray dryers are other major sources of waste heat. Contaminants in the wastewater may restrict its use for heat recovery, but dryer exhaust can be recovered and used to preheat supply air for the dryer.

Biscuit manufacturers and bakeries

Flue gases from ovens, fryers, pan washers and boilers are major heat loss sources. Hot water can be produced from these sources for use in pan and plant cleanup. Recovery of low-grade heat from oven exhaust for lower temperature heat requirements (e.g., proofing, fermentation) is another possibility.

Egg processing

As in the dairy industry, heat received by egg products during pasteurization is transmitted to the cold incoming egg product inside a regenerator. Principal sources of waste heat depend very much on the type of product the plant is producing, but they are generally refrigeration systems, wastewater from egg washing, and exhaust air from drying operations.

Applications include preheating boiler feedwater, heating egg washwater and plant cleanup water, and preheating incoming dryer air.

FINANCIAL ANALYSIS OF INVESTMENT IN HEAT RECOVERY EQUIPMENT

The technical review of equipment and options allows the food processor to evaluate whether heat recovery is technically feasible and which pieces of equipment will do the job required. The food processor must then decide whether the operation is also financially feasible and, if so, which piece of equipment is best suited to the plant's needs.

Financial feasibility means that the operation should save money and increase the firm's profits. The heat exchangers should save money for the firm given the current energy prices; financial returns will improve as energy prices increase. An investment that is technically feasible may or may not be financially viable. There are many factors that can make or break an investment in a heat exchanger system. Some of these factors, which change from time to time, are: the present and future prices of energy, interest rates, capacity utilization and capital cost of the equipment, maintenance costs, risk and uncertainty of the technology, tax effects, incentive/assistance programs and side effects such as environmental pollution.

Financial analysis is done to evaluate all of these concerns. It brings together the technical evaluation and the decision criteria for financing operations. The analysis should be performed in such a way as to enable decision makers to evaluate the effects of changing conditions on the decisions made. Therefore, the analysis should have all items, costs, prices, discount rates, etc., clearly laid out so that it can be redone with minimal effort and that the sensitivity of the conclusions can be tested against changed conditions or assumptions.

A proper financial or economic analysis requires the use of dollar values for all costs and all benefits or savings of the investment opportunity over the effective useful life of the project. Since there is an opportunity cost to investing in equipment that will produce savings many years in the future, all dollar inflows or outflows must be discounted to present values to permit real comparisons of financial alternatives. The discount rate is the rate of return at which the money to be invested in the equipment could be put into some other investment. Among these alternatives are bank balances, stocks, bonds, other production equipment, marketing effort, etc. Discounting to present values brings all cash flows to one common comparison period — the present.

Inflation should either not be taken into account, or else all values should be inflated. It is preferable not to use inflated values, since the future rate of inflation is hard to predict. The effect of inflation after discounting to present values with real discount rates is nil except for items in which the inflation rate is different. If the real cost of energy or of any other item rises faster than other costs, then the difference in the rate of increase should be shown as an inflation or real growth rate.

If inflated values are used then the discount rate adopted must be the market rate that includes inflation. If uninflated values are used, the discount rate should then be the firm's market or opportunity rate less the present rate of inflation.

The steps of financial analysis

Follow these six steps when doing an economic or financial cost benefit analysis:

1. Evaluate the technology of the processes and the equipment and select alternative methods of accomplishing the savings;

2. Evaluate the constraints to implementing any of the possible objectives;

3. Identify and quantify the potential benefits or savings, such as:

   — fuel saved for the waste heat generating process
   — fuel saved for the waste heat receiving process
   — reduced costs of waste energy disposal
   — labor cost reductions
   — changes in productivity
   — changes in other processes
   — environmental and health improvements
   — scrap value of equipment
   — tax effects
   — incentive assistance benefits

4. Identify and quantify costs:

   Capital expenditures

   — land and buildings
   — machinery and equipment
   — design and engineering
   — installation (including cost of site preparation)
   — startup costs
   — equipment replacement costs

   Operating costs

   — labor
   — materials and supplies
   — maintenance and repair
   — energy costs associated with reclamation system

   Tax effects and other costs such as incremental overhead or administrative costs.

5. Tabulate all of the benefits and costs for the period in which they occur, and calculate and tabulate the present value of each item;

6. Once all of these costs and benefits have been quantified, lay them out clearly so that anyone can follow the data and assumptions that are used in their derivation.

The alternatives can now be evaluated and compared with each other and with the basic investment criteria of the firm.

A thorough technology investment assessment should be accompanied by a tabulation of every cost, price, revenue, benefit, savings, etc., complete with the assumptions used in deriving them. This is followed by a sensitivity analysis, which is done by varying the assumptions to determine their singular or combined effect on the conclusions. In this way uncertainty can be evaluated.

An assessment of the investment criteria and the amount and timing of cash flows together with the sensitivity analysis of the assumptions allows the making of an informed decision about investments in new technology. If technology assessments are well done and presented with a good layout, comparisons with new opportunities are easily done. As decision makers become aware of the feasibility of new energy conservation technologies, they can readily compare them with other investment opportunities. As conditions change, the ranking of the priority of investments will change.

CASE STUDIES

The following case studies show benefits found by the food industry after heat recovery systems were installed. Case study no. 1 illustrates a detailed technical and financial analysis.

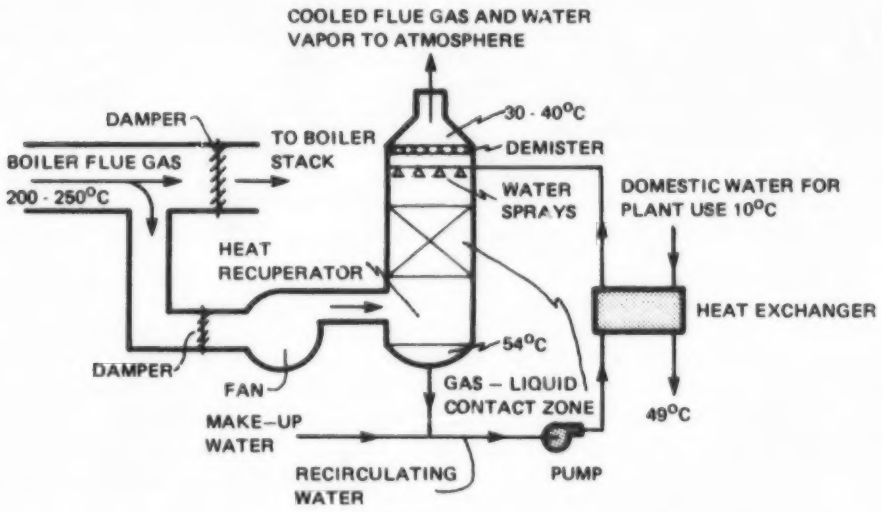
Case study no. 1 — rendering cookers

In the meat processing industry, rendering cookers provide a good opportunity for heat recovery because of the high temperatures and the large volume of steam involved. In this procedure, the vapor from the cooker was passed to a spray type condenser, which used plant effluent as the condensing medium. In the condensing process, all of the latent heat and a portion of the sensible heat in the vapor were transferred to the condensing medium. The resulting hot discharge was then passed to a hot well from where it was pumped through a heat exchanger to preheat the water.

A system similar to this one was installed in a Canadian meat processing plant. Unfortunately, the system failed owing to severe heat-exchanger fouling caused by the presence of grease and other waste materials in the plant effluent used in the spray condensers. This system was abandoned because frequent and expensive cleaning of the tubes was required. In addition, the system was not efficient in terms of heat recovery because the condensing of the vapor before it entered the heat exchanger resulted in high-grade heat sources being converted to much lower grade heat. The condenser discharge was rarely hotter than 60°C by the time it reached the heat exchanger. For efficient heat recovery, it would have been preferable to recover heat from the atmospheric pressure-saturated vapor (101.3 kPa) than that from the 60°C water.

A rendering plant has recently installed a system to preheat potable water using heat recovered from the vapor that is exhausted by four batch rendering cookers. Each 3630 kg capacity steam-jacketed cooker exhausts 2105 kg of vapor during each 2.4 hour batch-cooking process. The average demand for hot water at 93°C for production and sanitation during the production shift is 480 L/min.

The system recovers heat by passing vapor at atmospheric pressure through a steam-condensing heat exchanger. Vapor from each cooker passes through pipes to a header connected to a knockout tank capable of holding one full cooker charge. The spiral type heat exchanger selected provides a high degree of turbulence, ease of inspecting and cleaning, and permits subcooling of the vapor to 57°C, allowing recovery of some of the sensible heat. Excess vapor goes to two of the existing spray condensers.



15. Rendering cookers heat recovery system

In performing a rigorous analysis of the energy flows, a disequilibrium was detected between the rendering process, which supplies the waste heat, and the sanitation process, which uses the heat. Until 4:00 p.m., there was a greater demand for hot water in the plant than the rendering cookers could supply. After 4:00 p.m., there was an excess of waste heat. This situation required the continued operation of a water-heating system to make up the deficit and a bypass system to exhaust the excess heat when it could not be employed.

In this case, the labor related to the handling of the rendering vapor does not change. Previously, some labor was required for operating and cleaning the spray type vapor condensers before the water and the waste heat were passed directly to the general system. Roughly the same labor will be required for maintaining the operation and cleaning the steam-condensing heat exchanger.

Since the recovered heat is not put back into the rendering process, there is no fuel saving on the waste heat generating process. The recovered energy heats the water used in sanitation and other production processes. Therefore, the saving is the amount of energy that would have been required to heat the water that will now be heated by the energy recovered from the rendering cookers during that period. During rendering startup from 7:30 to 9:00 a.m., the average hot water demand exceeds the vapor exhaust rate. Therefore, the savings will simply be the total amount of recoverable heat. The rendering vapor rises steadily to attain 3520 kg/h during this period. A savings of 54 425 m^3/year of natural gas was calculated, representing an annual energy savings of $4245.

During the maximum rendering period from 9:00 a.m. to 4:00 p.m., the equivalent hot water demand exceeds the vapor exhaust rate. Therefore, the savings will simply be the total amount of recoverable heat. After calculation, a natural gas savings of 507 970 m^3/year was attained, representing an annual savings of $39 621/year.

During the sanitation shift from 4:00 to 8:00 p.m., the rendering vapor exhaust exceeds the equivalent hot water demand. Therefore, the savings are calculated based on the thermal energy required to raise the temperature of 91 L/min water from 13 to 93°C. There will not be sufficient demand for the sensible heat

recovered by subcooling. After calculation, a natural gas savings of 62 150 m^3/year was attained, representing an annual savings of $4847. The total of these natural gas savings is 624 545 m^3/year, which will reduce expenses by $49 053/year.

The simple payback period is a commonly used method of evaluating an investment opportunity. It is the period in which the cash benefits equal the cash costs and the original investment is repaid. This method serves as a simple measure for deciding whether to proceed with a more detailed analysis. However, the problem with using the simple payback period method is that it obscures much valuable information, such as fluctuations in cash flows due to operational and financial variations (i.e., tax benefits in early years of operation, equipment maintenance, repair or replacement, real price changes and non-recurring costs in later years, and the significance of interest rates in discounting future costs and benefits). In this case, with the capital cost $124 290, the simple payback period for the spiral heat exhanger used is $\frac{\$124\ 290}{\$49\ 053/\text{year}} = 2.5$ years. A more thorough financial analysis of spiral heat exchangers follows.

Table 1 illustrates the methods of financial analysis. It is assumed that natural gas prices will increase at a rate 2% faster than all other cost factors and the general rate of inflation. This is the real rate of growth estimated by Energy, Mines and Resources Canada. The annual fuel savings are calculated by multiplying the current annual fuel savings by the value of the compounded rate of increase of prices. If there were other savings (e.g., labor and materials), these would have a constant value provided that they only increased at the rate of inflation. Those costs would then be added to get the annual savings for each year.

In case study no. 1, the discount factor used is 10% real rate of interest. This means that the company would expect a 10% rate of return on investment after deducting the rate of inflation. The discount factor is the calculation of that value at 10%. It means, for example, that $0.75 invested today would be worth $1.00 3 years from now, owing to the compound interest earned. This factor is multiplied by the total annual savings for each year, which in this case is only the value of natural gas saved, to give the present value of the savings for the year. This calculated value is then subtracted from the present value of the costs to give the net present value for each year. In this case the only cost is the initial capital cost. The net scrap value of the equipment is assumed to be nil. There are no anticipated capital or other costs during the life of the project.

The net present value of the project is $207 201, using a real discount factor of 10%, a 10-year project life, and a rate of growth in natural gas prices of 2% greater than the rate of inflation.

To proceed with a project, the net present value must be positive. This indicates that the investment returns a profit according to the assumptions used to calculate the value of the project.

These calculated values allow calculation of the benefit/cost ratio. In Case study no. 1, the B/C ratio is

$$B/C = \frac{\$331\ 991}{\$124\ 290} = 2.66$$

The benefit/cost ratio must have a value greater than 1 for an investment to be financially viable.

TABLE 1 Financial analysis of spiral heat exchanger (Case study No.1)

Year	Cost	Rate of real price increase (2%)	Annual savings in current $ (49 053)	Discount factor (10%)	Present value annual savings	Accumulated present value annual savings	Net present value savings-costs
0	$124 290						
1		1.0200	50 034	0.90909	45 486	45 485	–78 804
2		1.0404	51 035	0.82645	42 177	87 663	–36 627
3		1.0612	52 055	0.75131	39 110	126 773	2 483
4		1.0824	53 096	0.88301	36 266	163 039	38 749
5		1.1041	54 158	0.62092	33 628	196 667	72 377
6		1.1262	55 242	0.56447	31 182	227 849	103 559
7		1.1487	56 346	0.55316	28 915	256 764	132 474
8		1.1717	57 473	0.46651	26 812	283 576	159 286
9		1.1951	58 623	0.42410	24 862	308 438	184 148
10		1.2190	59 795	0.38554	23 054	331 491	207 201

The payback period is the time in which the net present value of the benefits equals the net present value of the costs. Table 1 shows that this period lasts almost to the end of the third year (2.9 years).

Many firms set an investment criteria that all investments must pay back within a specified time period or exceed a specific internal rate of return. If projects do not meet these criteria, they are rejected.

Case study no. 2 — steam plant flue gases

Canada Packers has installed a new and very efficient heat exchanger in its Winnipeg plant.

A direct contact heat recuperator is used to reclaim heat from the steam plant flue gases. The flue gas flows upward through the recuperator into which cold water is sprayed. The water is recirculated with a very small amount of makeup water.

Under optimum conditions, water leaving the recuperator will have been heated to 54°C. Flue gases will cool from 215 to 30-40°C. Dampers are installed to divert flue gases to a main stack in the event of a system failure.

The recirculated water flows through a plate heat exchanger and back to the recuperator. The clean, cold process water is preheated to 50°C in the exchanger. Process water can be further heated with steam for use as plant hot water. Table 2 presents the financial analysis of this case study.

TABLE 2 Financial analysis (Case study no. 2)

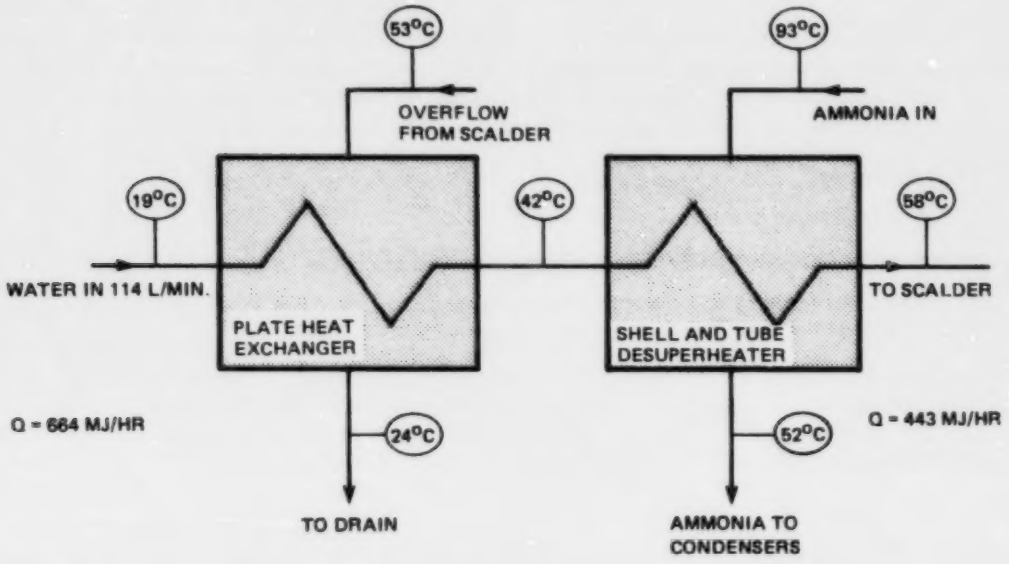
Project costs	
Recuperator and controls	$ 225 000
Installation and auxiliaries	$ 175 275
Total installed cost	$ 400 275
Operating costs	
Pre-demonstration annual fuel costs (annual natural gas consumption) (9.8×10^6 m^3 @ \$152/10^3 m^3)	$1 489 600
Post-demonstration annual fuel costs (8.625×10^6 m^3 @ \$152/10^3 m^3)	$1 311 000
Annual fuel savings (1.175×10^6 m^3 @ \$152/10^3 m^3)	$ 178 600
Added incremental annual costs (utilities and maintenance)	$ 27 900
Net annual savings	$ 150 700
Simple payback period	2.7 years

Case study no. 3 — poultry scalder and desuperheater

The case of Gold Kist, Inc., in Elligay, Georgia, illustrates an interesting application in the poultry processing industry. The U.S. Department of Energy, the Georgia Institute of Technology and the company undertook a project that included designing, installing and monitoring heat recovery systems connected to both a poultry scalder overflow and a refrigeration condenser using ammonia as the refrigerant.

The scalding tank in which poultry carcasses are immersed must be kept in a constant overflow for sanitation purposes. The poultry scalder overflow is at 53°C at a rate of between 75-115 L/min and contains a high level of suspended solids. In order to prevent fouling of the heat exchanger, the overflow was cascaded over a parabolic screening surface. The exchanger selected was a plate heat exchanger consisting of stainless steel plates. It was selected because of its compactness, high heat transfer coefficients and ease of cleaning.

The ammonia temperature entering the evaporative condensers ranged between 93-105°C and the flow rate was between 3500-3850 kg/h. A shell and tube-type heat exchanger was selected for the desuperheater, with hot ammonia flowing in the tubes.



16. Poultry scalder and desuperheater heat recovery system

Overflow water from the scalder is screened and then piped through the plate heat exchanger counterflow to the incoming plant potable water (19°C), which will be used as makeup water for the scalder. This makeup water then goes to the desuperheater, where the temperature is raised from 42 to 58°C by the hot counterflowing ammonia. The makeup water then flows to the scalder tank. Table 3 shows the heat recovery systems' performance. Greater benefits can be obtained by installing a hot water storage tank and a recirculating pump to use or store the heat from the ammonia condensers at all times and not just while the scalders are operating.

In food processing plants, contamination of potable water must be avoided. To prevent contamination, a differential pressure-sensing system was specified for the scalder overflow heat exchanger, which will shut down the electric wastewater pump if the wastewater pressure rises above the potable water pressure. In addition, a continuous pH monitoring and control system was installed in the water line coming from the ammonia desuperheater to detect any ammonia leakage into the potable water. The researchers calculated a simple payback period in an analysis of actual operating costs (see Table 3).

TABLE 3 Actual financial analysis (Case study no. 3)

System	Energy savings (MJ/h)	Capital cost installed ($)	Energy cost installed ($)	Simple payback period (years)
Overflow heat recovery system	664	13 287	16 921	0.78
Refrigeration heat recovery system	443	29 038	11 515	2.5
Combined systems	1107	42 325	28 436	1.5

Case study no. 4 — hog singer

Ever since energy became an important concern in the agri-food industry, the singeing operation in hog slaughtering has frequently been singled out as a major area of energy loss. In a normal singeing operation, the heat energy produces a wall of flame that is used to singe the hog carcasses as they pass through it. As a general rule, the surplus energy serves no useful purpose but does make this part of the plant very hot.

The managers of the Abattoir Olivier Bienvenue in Saint-Valérien, Quebec, were concerned about these energy losses and asked the firm Sonairtech Inc. to design a plant-integrated heat recovery system for the hog singer. A brief description of the system follows:

1. Air-water recovery

   Two modules provide heat recovery:

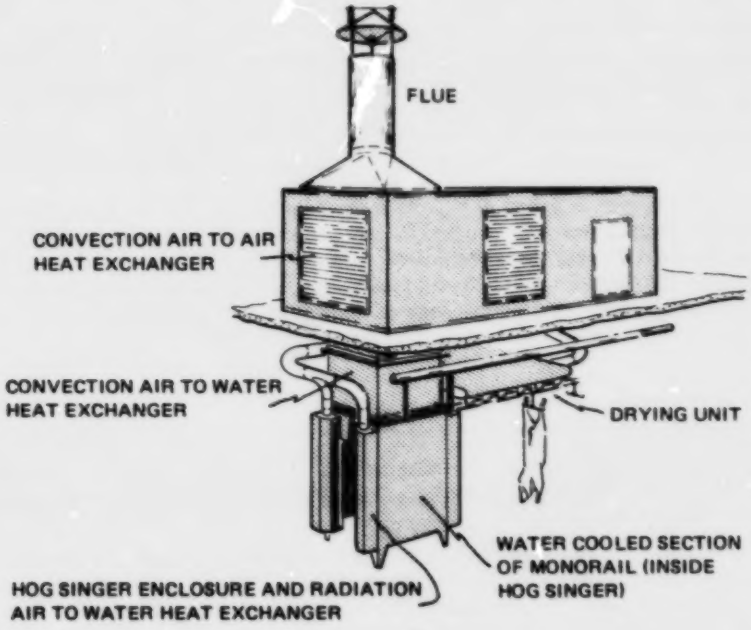
   (a) Radiant heat recovery panels were installed on the two inner sides of the singer structure.

   (b) An air-water recovery unit (finned tube heat exchanger) was installed above the singer. Hot gases circulate through the unit, which recovers a large proportion of their heat.

   During the winter, cold water from the storage tank is circulated directly through these recovery units, reaching an average temperature of 60°C at the outlet. The hot water is used in the slaughtering operation. During the summer, the water is first conveyed to a cooling coil installed in the main duct of the ventilation system for conditioning of the entrance air before it goes to heat recovery units.

2. Air-air recovery

   An air-air heat recovery module made of a bank of tubular piping was installed over the air-water exchanger. This unit recovers some of the residual energy for heating air during cold weather, and the hot air is directed to the killing floor to keep it at a comfortable temperature.



17. Hog singer heat recovery system

This system is flexible and can be adapted to hot water needs of 60°C, 80°C or any other desired temperature by controlling the water flow through the exchanger. This will, of course, affect the volume of hot water obtained.

Case study no. 5 — fruit and vegetable processing

Green Giant of Canada Limited has studied and implemented a number of heat exchanger systems in various parts of its fruit and vegetable processing operations. A few of the projects are the following:

a) A shell and tube heat exchanger (costing $3200 including installation) is used to recover heat from boiler blow down, with an annual savings of $1573. This represents a simple payback period of approximately 2 years.

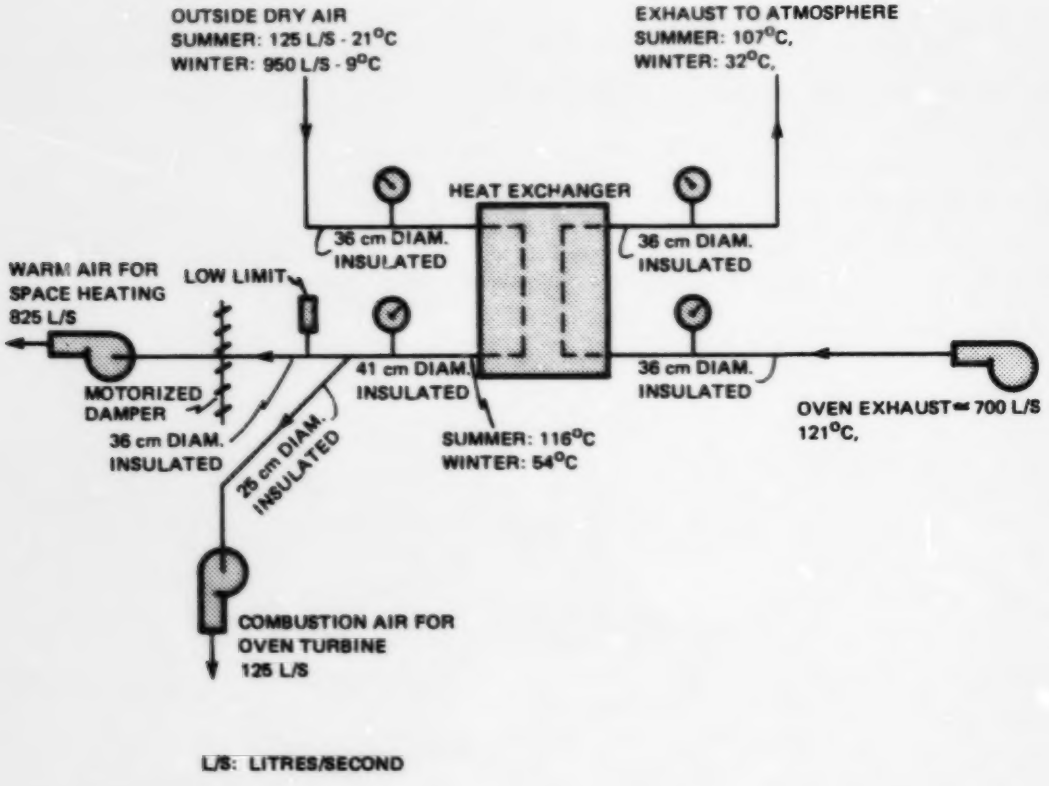
b) Heat is recovered from the evaporative condensers of the refrigeration system for a cold warehouse. The cost of adopting the evaporative condenser for heating, which included duct work, insulation, dampers and modulating motor drives, amounted to $10 400. Since more than $5200 in gas fuel was saved, the project indicated a simple payback period of 2 years.

The projects show that small investments in heat exchangers pay back well and enable plants to reduce energy costs.

Case study no. 6 — bakery oven heat recovery

When a new bakery oven was set up at Boulangerie Moderne & Roussin Inc., in Thetford Mines, Quebec, an air-to-air heat exchanger was installed on the front of the oven exhaust stack to recover the heat. The oven is direct-fired, and large enough to bake 4200 loaves of bread per hour. The oven's 53 Tri-Zone burners operate on propane.

The heat exchanger is a Z-Air, rated at 945 L/s. On one end, 700 L/s of combustion products (N_2 + CO_2 + H_2O) enter at 120°C and leave at a temperature between 32-107°C, depending on the fresh air intake rate and temperature. During the summer, 125 L/s of outside fresh air enters the opposite side of the heat exchanger and is preheated to be used as combustion air by the oven turbine and burners. In the winter, 950 L/s of outside air



18. Baker oven heat recovery system

(sometimes below –18°C) enters the heat exchanger and is heated to be used as space heating for the shipping department. A room thermostat and a low-limit thermostat (inserted into the duct) are connected in series to operate the heating fan and motorized damper. The heat recovered is 4.75×10^4 kJ/h for combustion air (summer) and 2.3×10^5 kJ/h for winter heating. During the winter, maximum rates of over 3.2×10^5 kJ/h have been measured. Measurements of propane consumption with a gas meter installed on the oven gave the following results: 975 kJ/kg bread with the heat exchanger; 1000 kJ/kg bread without the heat exchanger. Tests of maximum firing rate of burners with and without the heat exchanger concluded that there was no measurable difference in firing rate.

The heat exchanger cost $2300, and the total cost including ducts, fan, insulation and installation was $5000. Installation was completed in April 1982. Propane and fuel oil (for heating) economy is estimated to be $2125/year. The simple payback period should be approximately 2.5 years, based on 50 hours operation/week. The company was very satisfied with the heat exchanger's performance after the first year of operation. In addition to other benefits outlined, the dry, warm air released by the heat exchanger helps to eliminate humidity and condensation from building walls in the winter.

CONCLUSION

Potential of heat recovery

A report, entitled *Energy Cascading Potential in Canadian Industry*, prepared by the firm Lalonde, Girouard, Letendre & Associates Limited for Energy, Mines and Resources Canada, shows that in 1978 the food and beverage industries consumed $106\,960 \times 10^9$ kJ of energy — $22\,475 \times 10^9$ kJ as heat energy above 260°C. The report shows that 12.5% of the total energy consumed by the food and beverage industries can be practicably recovered by present heat recovery techniques. The authors determined the cascading potential of waste heat streams from the plant but did not evaluate heat recovery within plants. Therefore, the estimates pertain only to heat that is recoverable for use outside the plant from which it was generated. Within plants the extent of heat recovery is potentially much higher than shown in the report.

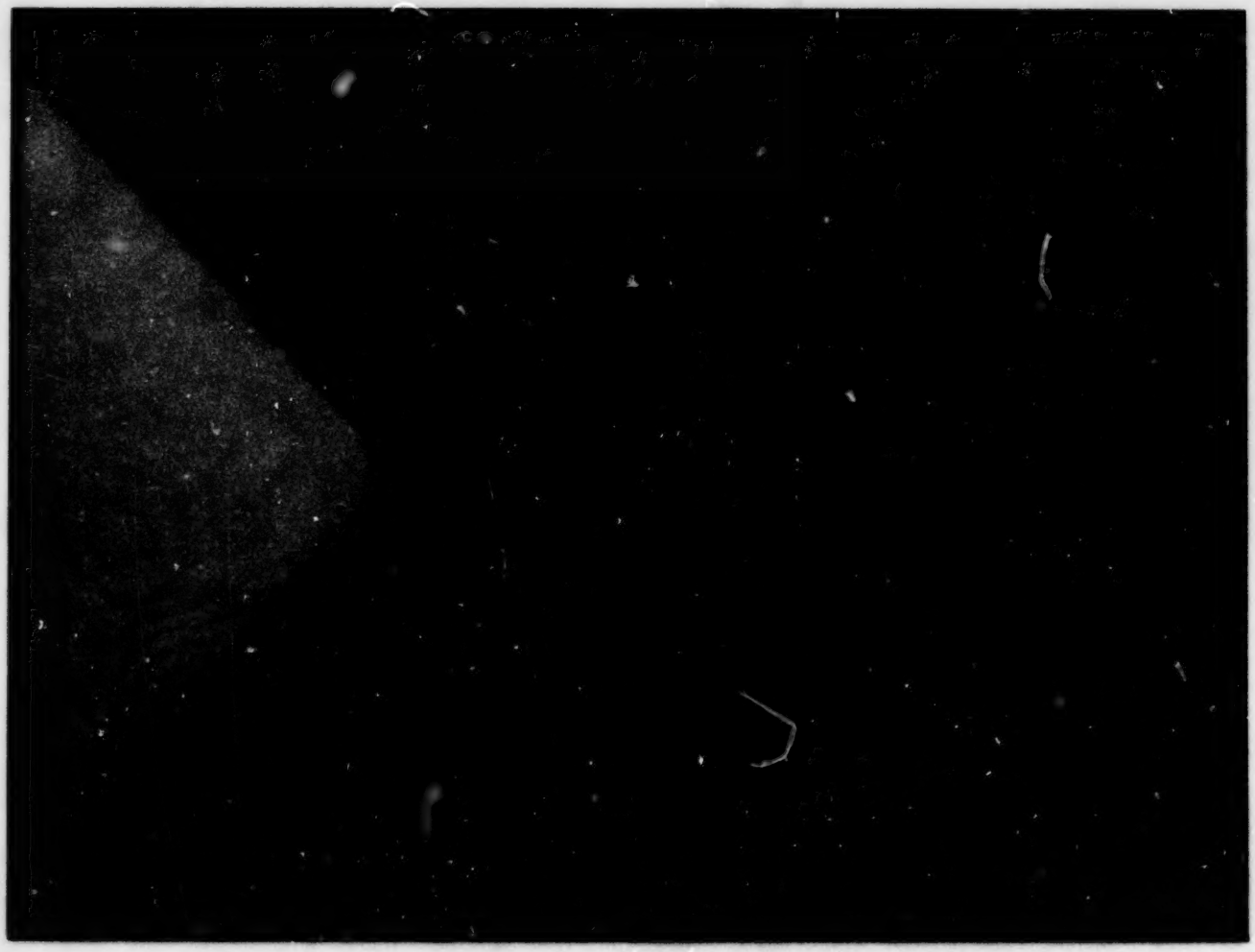
The authors estimate that 25% of the energy consumed by plants is theoretically recoverable at the plant boundary and that it is practical to recover half of this energy by conventional technology, that is, 12.5%.

In 1980 the cost of fuel and electricity purchased by food and beverage industries was $422 007 000. Therefore, heat energy that is practical to recover at the plant gate with existing technology is estimated to be worth $52 750 000. This is only 0.19% of the value of shipments of goods, but it represents 0.6% of the expenses other than materials and supplies. Since many heat exchangers pay back their cost in about 2 years, this represents a substantial increase in profits over the life of the equipment. Given the large potential benefits of recovering the heat energy in the waste energy streams in food and beverage industries, it is important to undertake assessments of the application of new heat recovery technology. Assessments must be both technical and economic and permit comparisons with other investment opportunities.

La récupération de la chaleur dans l'industrie des aliments et des boissons

Agriculture Canada

Publication 5181 F



Canada

La récupération de la chaleur dans des aliments et des boissons

Direction générale de la production
et de l'inspection des aliments

Direction générale de la commercialisation
et de l'économie

PUBLICATION 5181F, on peut obtenir des exemplaires à la Direction générale des communications, Agriculture Canada, Ottawa K1A 0C7

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984
N° de cat. A15—5181/1984F ISBN: 0-662-92652-8
Impression 1984 0.75M—9:84

Also available in English under the title
Heat recovery for Canadian food and beverage industries

AVANT-PROPOS

Cette publication est un recueil d'idées et de renseignements qui peuvent intéresser les personnes sensibilisées à la question de l'économie de l'énergie. Il vise à éveiller l'intérêt des responsables de l'industrie des aliments et boissons pour la technologie de la récupération de l'énergie par les échangeurs de chaleur. Des renseignements plus spécifiques sont disponibles et on aura avantage à solliciter l'avis d'ingénieurs compétents avant de modifier les installations ou les méthodes de production existantes.

La publication est le fruit d'un travail commun fouri par les Directions générales de la production et de l'inspection des aliments, de la commercialisation et de l'économie, et de la recherche d'Agriculture Canada. Elle a été rendue possible grâce à l'appui financier du Programme de recherche et de développement énergétiques dans l'agro-alimentaire (RDEAA), un programme d'impartition d'Agriculture Canada. Le programme RDEAA tente de susciter l'intérêt des secteurs autres que gouvernementaux par l'octroi des contrats de recherche et de développement en énergie. Il représente la participation d'Agriculture Canada aux travaux de recherche du programme énergétique national (PEN) et aux responsabilités qui s'y rattachent. Le programme RDEAA est administré à Ottawa sous l'autorité du Directeur général — Instituts (Direction générale de la recherche).

Toute question se rapportant au programme RDEAA doit être adressée à :

M. M. Feldman
Gestionnaire, Programme RDEAA
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
Immeuble Arboretum
Ferme expérimentale centrale
Ottawa
K1A 0C6

Les auteurs désirent remercier tous ceux qui ont contribué à cette publication, principalement les sociétés qui ont accepté d'être citées en exemples dans les études de cas.

Le Gouvernement du Canada et l'administration gouvernementale ne donnent aucune garantie, expresse ou implicite, et n'assument aucune responsabilité quant à la viabilité des méthodes décrites dans le présent document. La publication de ce guide ne constitue aucunement une validation du contenu par le gouvernement fédéral.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ / 4

INTRODUCTION / 6
QU'ENTEND-ON PAR CHALEUR PERDUE? / 6
QU'ENTEND-ON PAR RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR? / 6
QU'EST-CE QU'UN ÉCHANGEUR THERMIQUE? / 6
CARACTÉRISTIQUES D'UN ÉCHANGEUR THERMIQUE / 7
FACTEURS À CONSIDÉRER DANS LE CHOIX D'UN ÉCHANGEUR THERMIQUE / 7

TYPES FONDAMENTAUX D'ÉCHANGEURS THERMIQUES / 8
— Échangeur thermique à plateaux / 8
— Échangeur thermique à calandre / 9
— Échangeur thermique à tubes à ailettes / 9
— Échangeur thermique à spirales / 10
— Échangeur thermique coaxial / 10
— Échangeur thermique à lames raclantes / 11
— Régénérateur à roue thermique, ou rotatif / 12
— Caloduc / 12

TYPES PARTICULIERS D'ÉCHANGEURS THERMIQUES / 14
— Économiseur / 14
— Chaudière-récupératrice / 14
— Préchauffeur d'air de combustion / 15
— Préchauffeur d'air à plateaux parallèles / 16
— Système de dérivation / 16

POMPE À CHALEUR / 17
EMMAGASINAGE D'ÉNERGIE THERMIQUE / 17
ENCRASSEMENT / 17
GIVRE / 17
SYSTÈMES DE SÉCURITÉ ET COMMANDE / 18
RÈGLEMENTS, CODES ET NORMES / 18

PROFILS DE LA QUANTITÉ DE CHALEUR RÉCUPÉRABLE PAR SECTEUR INDUSTRIEL / 18
— Viandes rouges / 19
— Volaille / 19
— Fruits et légumes / 19
— Produits laitiers / 20
— Biscuiteries et boulangeries / 20
— Oeufs / 20

ANALYSE FINANCIÈRE DES INVESTISSEMENTS EN MATÉRIEL DE RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR / 20
— Les étapes de l'analyse financière / 21

ÉTUDES DE CAS / 22
Étude de cas nº 1 — Cuiseurs de fondoirs / 22
Étude de cas nº 2 — Gaz de combustion / 25
Étude de cas nº 3 — Désurchauffeur et échaudoir — Transformation de la volaille / 26
Étude de cas nº 4 — Brûleur des soies — Abattoir porcin / 27
Étude de cas nº 5 — Transformation des fruits et légumes / 28
Étude de cas nº 6 — Four de boulangerie / 29

CONCLUSION / 30
— Les possibilités de récupération de la chaleur / 30

RÉSUMÉ

Les procédés de transformation des aliments et des boissons entraînent souvent le rejet dans l'atmosphère ou dans les eaux usées d'une certaine quantité d'énergie. Aujourd'hui, en raison des coûts élevés de l'énergie, une des méthodes les plus efficaces pour en réduire la consommation serait de réutiliser la chaleur autrement perdue. On entend par chaleur perdue celle qui est contenue dans un fluide rejeté par un procédé de fabrication, et dont la température est supérieure à la température ambiante de l'usine. Le recours à la chaleur perdue offre plusieurs avantages que d'autres sources d'énergie n'ont pas : la chaleur se trouve déjà sur place, elle est disponible pendant que l'usine est en fonctionnement, on peut diminuer la pollution thermique de l'environnement et en arriver à se passer de refroidisseurs.

Pour qu'il soit pertinent de récupérer la chaleur, il faut d'abord qu'on fasse usage dans l'usine d'effluents à température moins élevée ou de procédés susceptibles d'utiliser la chaleur récupérée. D'autres facteurs sont également importants : quantité de chaleur perdue et fréquence des pertes de chaleur, facilité et coûts d'installation et d'entretien du système de récupération requis.

La méthode la plus efficace pour récupérer la chaleur serait de relancer dans le système le fluide caloporteur une fois débarrassé de ses impuretés; on pourrait ainsi récupérer presque 100 % de la chaleur perdue. Cependant, cette méthode est souvent inapplicable et il faut installer un appareil de récupération de la chaleur, un ÉCHANGEUR THERMIQUE. L'échangeur thermique ne met pas en contact direct le fluide caloporteur et le fluide à réchauffer mais permet à la chaleur de se transmettre de l'un à l'autre sans qu'ils se mélangent, à travers les cloisons qui les séparent. C'est la différence de température entre les deux fluides qui rend la chose possible.

Quand, en situation de déperdition de chaleur, on envisage d'installer un appareil pour récupérer cette chaleur, un certain nombre de facteurs déterminent la faisabilité technique et financière du projet et sont à prendre en considération.

Il faut d'abord bien connaître les caractéristiques des fluides caloporteurs et des procédés susceptibles de devenir récepteurs de la chaleur récupérée. Il faut connaître entre autres :

— Les températures moyennes des fluides et leurs variations de température;
— Le débit des fluides mis en circulation;
— Le moment et la durée de mise en circulation des fluides;
— Le degré d'éloignement entre la source et le récepteur de chaleur;
— Les caractéristiques des fluides (coefficient de viscosité, nature des saletés et des impuretés qu'ils contiennent, critères de propreté et de pureté qu'ils doivent respecter).

On doit également mesurer les caractéristiques opérationnelles principales des systèmes de récupération :

— La capacité opérationnelle maximale et moyenne d'échange de chaleur;
— La capacité rentable minimale;
— Les pressions et leur étendue de variation;
— Le besoin d'un système de secours ou de remplacement en cas d'arrêt du fonctionnement, soit de la source de chaleur, soit de l'échangeur thermique, ou encore du système récepteur de chaleur;
— La nécessité de nettoyer les fluides à l'entrée et à la sortie de l'échangeur thermique;
— La facilité, la fréquence et la rapidité de mise en marche, de ralentissement ou d'arrêt complet du système;
— Le fonctionnement des systèmes de commande et de surveillance;
— Les conséquences sur d'autres systèmes, telle une diminution de l'usage des appareils de chauffage ou des chaudières;
— Le potentiel d'emmagasinage de l'énergie thermique.

Ces connaissances permettront de choisir l'équipement approprié à la situation et de prévoir les coûts de son installation ainsi que celle des raccords avec les autres systèmes de même qu'avec les appareils de commande et de contrôle. Si la situation est simple, l'installation d'un système de récupération peut se faire avec de l'outillage courant, la main-d'oeuvre de l'usine et les conseils du fournisseur de l'équipement. Si la situation est plus complexe, il est préférable de demander l'aide d'ingénieurs-conseils.

Afin de choisir un équipement de récupération de la chaleur adapté à ses besoins il est utile de connaître le nom, l'adresse et l'éventail des produits de tous les fournisseurs possibles. Les annuaires constituent un bon outil à la disposition des usagers pour les aider à repérer les fournisseurs qui connaissent bien les équipements conçus spécialement pour leur secteur industriel.

Les systèmes d'emmagasinage de l'énergie thermique permettent souvent de rendre la récupération de la chaleur avantageuse si la production de chaleur s'effectue à des moments ou à un taux différents de ceux auxquels le fluide récepteur en consomme. L'énergie thermique est habituellement emmagasinée sous forme de liquide chauffé, l'eau étant le caloporteur préféré à cause de son coût peu élevé et de sa grande chaleur spécifique.

Dans les usines de transformation des aliments et des boissons, il faut éviter la contamination des produits alimentaires et de l'eau potable utilisée dans les procédés de transformation. C'est pourquoi il est important d'envisager l'adoption de mesures de sécurité. Il faut pouvoir mettre le dispositif de récupération de la chaleur en dérivation lorsqu'il ne fonctionne pas normalement, de façon à ce que les activités de l'usine puissent tout de même se poursuivre. Les exigences imposées par les lois et règlements qui régissent la transformation des aliments contiennent une règle générale : si l'échangeur de chaleur doit entrer en contact avec de l'eau potable ou un produit alimentaire, il doit être fait d'un matériau non absorbant qui résiste à la corrosion, qui puisse être désinfecté et nettoyé souvent, mais ne puisse contaminer l'eau ou les aliments, ni leur transmettre de substances toxiques, d'odeurs ou de goûts.

La quantité de chaleur perdue dans une usine varie largement d'un secteur à l'autre dans l'industrie alimentaire, en raison de la diversité des procédés utilisés et des différences dans les quantités d'énergie requise. Il existe également d'importantes différences dans les pertes de chaleur d'un type d'usine à l'autre à l'intérieur d'un même secteur. Les écarts sont imputables à des facteurs comme : la concentration du produit, le fonctionnement en continu ou par lots, la taille et l'emplacement de l'usine. La quantité réelle de chaleur perdue, potentiellement utilisable, ne peut être déterminée que par une étude approfondie de la situation énergétique de l'usine. Aucun secteur de la transformation des aliments n'est exclu des bénéfices potentiels de la récupération de la chaleur, chacun présentant ses possibilités propres.

L'examen du matériel et des diverses possibilités qui s'offrent à lui permet au transformateur d'aliments d'évaluer la faisabilité technique de la récupération de la chaleur et de choisir l'équipement le mieux adapté à sa situation. La décision importante qu'il doit ensuite prendre est de déterminer si le projet est financièrement avantageux.

L'évaluation financière du projet permet de déterminer s'il fera économiser de l'argent à l'entreprise et s'il augmentera ses profits. Le système de récupération de la chaleur devrait faire économiser de l'argent à l'entreprise au coût actuel de l'énergie, et toute augmentation de ce coût devrait faire augmenter ce rendement financier. La faisabilité technique d'un projet ne le rend pas obligatoirement viable du point de vue financier. Plusieurs facteurs peuvent multiplier ou au contraire ruiner les chances de profiter d'un investissement tel que l'installation d'un échangeur thermique. Ils comprennent, par exemple, le coût actuel et future de l'énergie, les taux d'intérêt, l'incidence fiscale du projet et le coût en capitaux.

L'analyse financière sert à les évaluer tous. Elle met en rapport l'étude de faisabilité technique et les critères financiers qui entrent en jeu dans la prise de décision. Elle sert habituellement à résoudre les problèmes soulevés par l'évaluation des possibilités présentes d'investissement. Une telle analyse doit être menée de façon à permettre aux décideurs d'évaluer les conséquences de tout changement de situation sur la décision qui sera prise. Une étude de sensibilité peut alors être faite en modifiant les hypothèses afin de déterminer les effets qu'elles ont, individuellement ou collectivement, sur les conclusions. On peut ainsi évaluer les risques et les incertitudes reliés au projet.

Il existe plusieurs occasions d'investir dans des équipements de récupération de la chaleur, qui peuvent réclamer soit des petites sommes, soit de plus importantes. Dans tous les cas, après une analyse technique et financière bien menée, on pourra déterminer si la période de récupération simple et le taux de rendement interne rencontrent les critères d'investissement de l'entreprise concernée. Dans le rapport qui suit, des études de cas ont été faites, qui montrent les bénéfices réalisés par certaines firmes canadiennes de transformation des aliments ayant investi dans ce genre d'équipement.

Le potentiel de récupération de la chaleur a été évalué dans un rapport pour Énergie, Mines et Ressources Canada. Ce rapport indique que 12,5 % de l'énergie totale consommée par le secteur des aliments et des boissons pourrait pratiquement être récupérée grâce aux techniques actuelles de récupération de la chaleur. Étant donné les avantages considérables qu'on peut retirer de la récupération de l'énergie thermique dans l'industrie des aliments et des boissons, il est avantageux d'évaluer les applications de la technologie dans ce domaine. Cette évaluation doit porter à la fois sur les aspects techniques et économiques de la question et permettre de comparer l'investissement dans cette technologie à d'autres types d'investissement.

INTRODUCTION

La transformation des aliments et des boissons entraîne souvent le rejet d'une certaine quantité d'énergie dans l'atmosphère ou dans les eaux usées. Autrefois, cette décharge de l'énergie excédentaire dans les drains, les égouts, les bouches d'aération et les cheminées se faisait aisément et était économique. Maintenant, principalement en raison des coûts élevés de l'énergie, le secteur de la transformation des aliments et des boissons étudie soigneusement les diverses sources d'économie mises à sa disposition par les procédés de conservation de l'énergie. Une des méthodes les plus efficaces pour réduire la consommation d'énergie est de réutiliser la chaleur autrement perdue.

QU'ENTEND-ON PAR CHALEUR PERDUE?

On entend par chaleur perdue celle qui est contenue dans un fluide rejeté par un procédé de fabrication et dont la température est supérieure à la température ambiante de l'usine. Les fluides dont la température est inférieure à la température ambiante renferment eux aussi une forme d'énergie perdue réutilisable, à des fins de refroidissement par exemple.

Les sources de déperdition de chaleur sont nombreuses dans le secteur de la transformation des aliments. Les méthodes de cuisson, de distillation, de pasteurisation et d'aération en sont toutes ainsi que les systèmes de réfrigération. Il en va de même pour l'eau chaude qui est souvent rejetée à l'égout après un seul usage.

QU'ENTEND-ON PAR RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR?

La récupération de la chaleur suppose que la chaleur autrement perdue soit transférée à un autre support (l'air ou l'eau, par exemple) pour servir ultérieurement. La faisabilité de récupérer la chaleur perdue dépend de l'existence dans l'usine d'effluents à température moins élevée ou de procédés pouvant effectivement utiliser la chaleur récupérée. Elle dépend aussi de la quantité de chaleur mise en disponibilité (température, débit, fréquence), de la facilité d'installation et d'entretien du système de récupération et de son coût. La récupération de la chaleur sert généralement au réchauffement ou au refroidissement des fluides utilisés dans les procédés de transformation ou autres : par exemple, le réchauffement de l'eau d'alimentation des chaudières, le réchauffement préalable de l'eau de nettoyage, le réchauffement ou le refroidissement préalables du produit à traiter, le réchauffement ou le refroidissement de l'air amené par le système de ventilation.

Le recours à la chaleur perdue offre des avantages que d'autres sources d'énergie n'ont pas, car cette chaleur existe déjà dans l'usine et est disponible pendant que celle-ci fonctionne; ce recours peut diminuer la gravité des problèmes de pollution thermique de l'environnement et éliminer le besoin d'installer des refroidisseurs.

QU'EST-CE QU'UN ÉCHANGEUR THERMIQUE?

La méthode la plus efficace pour récupérer la chaleur consiste à débarrasser le fluide caloporteur de ses impuretés et à le relancer dans le circuit; de cette façon, on peut récupérer presque 100 % de la chaleur perdue. Cependant, cette méthode est souvent inapplicable; il faut alors installer un équipement de récupération de la chaleur, un ÉCHANGEUR THERMIQUE.

Un échangeur thermique est un appareil qui, sans mélanger le fluide caloporteur avec le fluide à réchauffer, permet à la chaleur de se transmettre de l'un à l'autre à travers la paroi qui les sépare. C'est la différence de température entre les deux fluides qui rend la chose possible.

Il peut y avoir plusieurs raisons qui obligent à éviter le mélange des deux fluides. Il peut être nécessaire :

— d'éviter que l'un des fluides ne contamine l'autre. Ceci est particulièrement important dans la transformation des aliments, surtout lorsqu'il y a risque de contamination de l'eau potable servant à un procédé de transformation ou de préparation de l'aliment lui-même;
— de pallier une différence de pression entre les deux fluides.

Il pourra aussi exister des situations où l'usage d'un troisième fluide sera nécessaire, par exemple lorsqu'il faudra transporter la chaleur récupérée sur une longue distance, comme dans le cas où la source et le récepteur sont éloignés l'un de l'autre.

CARACTÉRISTIQUES D'UN ÉCHANGEUR THERMIQUE

Il existe plusieurs types d'échangeurs thermiques et tous ont des caractéristiques différentes. Pour récupérer l'énergie contenue dans les fluides caloporteurs, il existe trois catégories d'échangeurs thermiques : les échangeurs où les deux fluides sont à l'état liquide, les échangeurs où les deux fluides sont à l'état gazeux, les échangeurs où l'un des deux fluides est à l'état gazeux et l'autre à l'état liquide.

Les deux fluides dans l'échangeur thermique peuvent circuler parallèlement et dans la même direction (échangeurs à courants parallèles de même sens), ou circuler à contre-courant (échangeurs à courants parallèles opposés), ou encore circuler à angle droit l'un par rapport à l'autre (échangeurs à courants croisés). La circulation peut aussi être à parcours unique ou a parcours multiple (c'est-à-dire que le fluide chauffant passe une ou plusieurs fois sur la surface d'échange).

FACTEURS À CONSIDÉRER DANS LE CHOIX D'UN ÉCHANGEUR THERMIQUE

Lorsque, en situation de déperdition, on envisage d'installer un équipement de récupération de la chaleur, il faut prendre en considération un certain nombre de facteurs qui déterminent la faisabilité technique et financière du projet.

Il faut d'abord bien connaître les caractéristiques des fluides caloporteurs et des procédés susceptibles de devenir récepteurs de la chaleur récupérée. Il faut connaître entre autres :

— Les variations de température des fluides et leurs températures moyennes;
— Les débits des fluides mis en circulation;
— Le moment et la durée de la mise en circulation des fluides;
— Le degré d'éloignement entre la source et le récepteur de chaleur;
— Les caractéristiques des fluides, telles le coefficent de viscosité, la nature des saletés et des impuretés qu'ils contiennent ainsi que les critères de propreté et de pureté qu'ils doivent rencontrer.

On doit également évaluer les caractéristiques opérationnelles essentielles des systèmes de récupération et des échangeurs thermiques, soit :

— La capacité opérationnelle maximale et moyenne d'échange de la chaleur;
— La capacité rentable minimale;
— Les pressions et l'étendue de leurs variations;
— Le besoin d'un système de secours ou de remplacement en cas d'arrêt, soit de la source de chaleur, soit de l'échangeur thermique, soit du système récepteur de chaleur, pour évacuer ou, au contraire, engendrer la chaleur nécessaire;
— La nécessité de nettoyer les fluides à l'entrée et à la sortie de l'échangeur thermique;
— La facilité, la fréquence et la rapidité de mise en marche, de ralentissement ou d'arrêt complet du fonctionnement du système;
— Le fonctionnement approprié des systèmes de commande et de surveillance;
— Les conséquences sur d'autres systèmes, telles une diminution de l'utilisation des appareils de chauffage et des chaudières;
— Le potentiel d'emmagasinage de l'énergie thermique.

Cette étude préliminaire permettra de choisir correctement l'équipement de récupération adapté à une situation donnée, de calculer les coûts de son installation et des raccords à établir avec les autres appareils de même qu'avec les appareils de commande et de contrôle. Dans les cas simples, l'installation d'un équipement de récupération peut se faire avec de l'outillage courant, la main-d'oeuvre de l'usine et les conseils des fournisseurs. Lorsque la situation est plus complexe ou l'usine plus grande, il est recommandable de demander l'aide d'ingénieurs-conseils.

Lors du choix d'un équipement approprié pour récupérer la chaleur, il peut être utile de connaître le nom, l'adresse et l'éventail des produits des différents fournisseurs possibles. Les annuaires sont un bon outil actuellement à la disposition des usagers pour les aider à choisir les fournisseurs qui connaissent bien les équipements conçus pour leur secteur industriel. Il existe deux excellents annuaires :

1) *Annuaire canadien 1983 des produits de conservation de l'énergie et des fournisseurs*. Cet annuaire est publié par EMR et on peut se le procurer au :

Sous-secteur des économies d'énergie et des substitus du pétrole
Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources
580, rue Booth
Ottawa
K1A 0E4

ou à n'importe quel bureau de la conservation et des énergies renouvelables.

2) *1983 Buyer's Directory. Food in Canada*. Vol. 43, N° 10, octobre 1983.

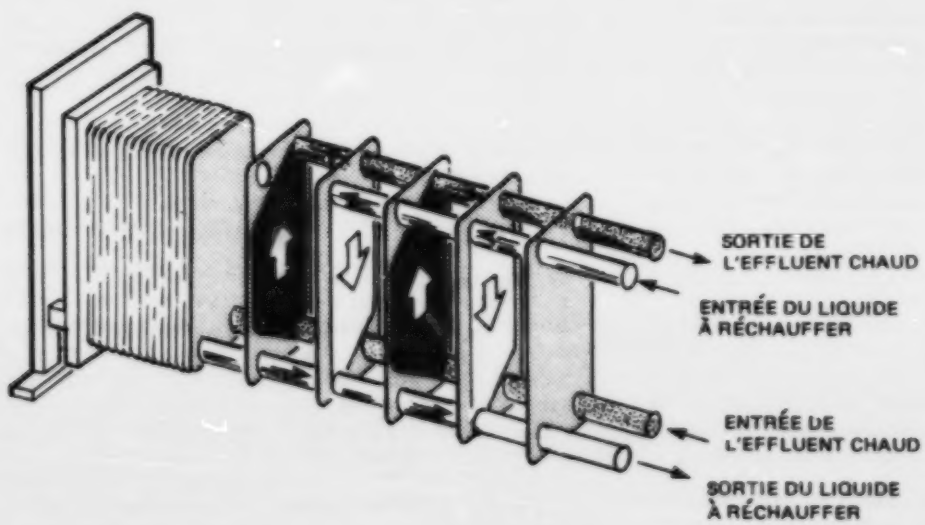
On peut se procurer ce guide à l'adresse suivante :
Food in Canada
Maclean Hunter Ltd.
Maclean Hunter Building
777, rue Bay
Toronto (Ontario)
M5G 2C8

TYPES FONDAMENTAUX D'ÉCHANGEURS THERMIQUES

Voici une brève description des types d'échangeurs thermiques les plus communément utilisés pour la récupération de la chaleur dans le secteur de la transformation des aliments et des boissons.

Échangeur thermique à plateaux ou à plateaux et cadre

Cet échangeur, à deux fluides liquides ou à deux fluides gazeux, est constitué de deux tirants auxquels sont fixées des plaques de métal à ondulations, en nombre variable. Un écart est maintenu entre les plateaux et leur étanchéité est assurée par un joint prévenant fuites et mélanges. Les deux fluides coulent généralement à contre-courant dans des canaux parallèles situés entre les plateaux. Les ondulations du métal favorisent la turbulence du milieu et accroissent la superficie d'échange de la chaleur augmentant ainsi l'efficacité de la transmission.



1. Échangeur thermique à plateaux

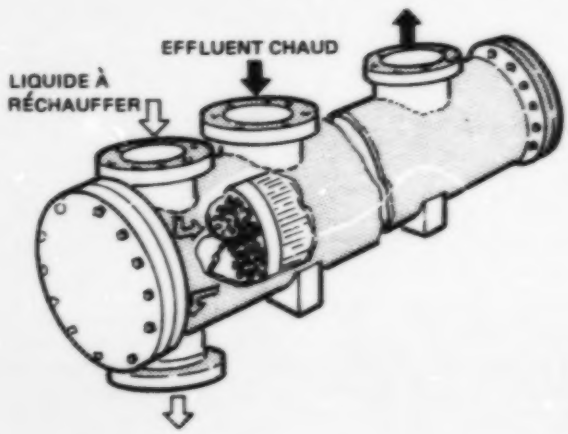
L'échangeur à plateaux est le plus simple et le plus facile à inspecter et à nettoyer car les surfaces d'échange sont facilement accessibles. L'échangeur à plateaux se nettoie facilement par le procédé de nettoyage en place (CIP). Pour toutes ces raisons, il constitue souvent un bon choix lorsqu'on traite directement un produit alimentaire ou de l'eau potable. Il est généralement employé pour les liquides contenant moins de 5 % de solides ou des particules d'un diamètre inférieur à 1 mm.

Les pasteurisateurs qui sont en usage dans le secteur de la transformation du lait ou des oeufs, par exemple, sont munis d'un élément de récupération qui est un échangeur thermique à plateaux à fluides liquides et dans lequel le produit chaud qui sort du pasteurisateur est refroidi par le produit froid qui y entre et se trouve ainsi légèrement réchauffé. L'économie d'énergie est substantielle car les besoins de chauffage et de refroidissement sont comblés simultanément.

Parmi les applications particulières de l'échangeur thermique à plateaux, signalons le préchauffage de l'eau des chaudières avec des effluents d'eau chaude, le préchauffage de l'eau d'un échaudoir avec le trop-plein du même appareil, ou le chauffage de l'eau potable avec l'eau rejetée d'un blancheur à légumes.

Échangeur thermique à calandre

Cet échangeur, à fluides liquides ou à fluides gazeux et liquide, est constitué d'un faisceau de petits tubes parallèles contenus dans une enveloppe cylindrique.



2. Échangeur thermique à calandre

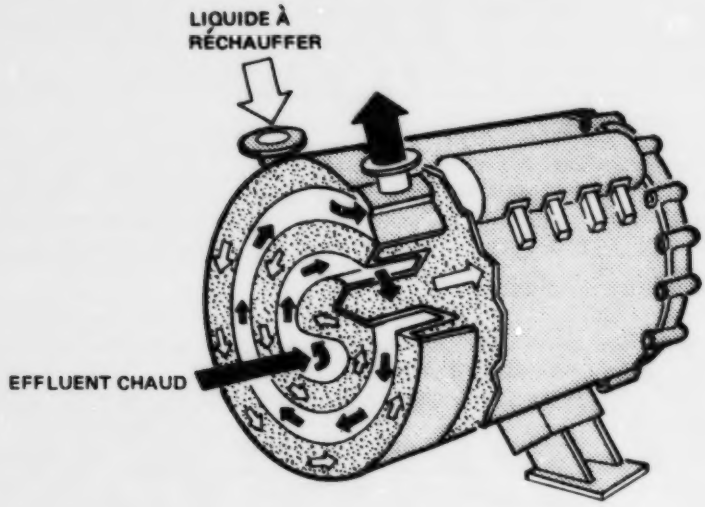
Un des fluides coule à travers les tubes et l'autre à travers l'enveloppe au-dessus du faisceau de tubes. Lorsqu'on emploie une vapeur caloporteuse pour réchauffer un liquide, elle circule à travers l'enveloppe, pendant que le liquide à réchauffer circule dans les tubes. Le faisceau de tubes étant amovible, le nettoyage de l'échangeur s'en trouve facilité, bien que les tubes eux-mêmes demeurent difficiles à nettoyer. Ce type d'échangeur sert, le plus souvent, dans des opérations ne s'appliquant pas directement à un produit alimentaire, car l'enveloppe et les tubes peuvent être difficiles à inspecter. Il est limité au traitement de solutions à faible teneur en solides. Quelques-unes des applications possibles sont le chauffage de l'eau à l'aide de la vapeur provenant des cuiseurs de fondoirs, ou encore, le chauffage de l'eau qui entre dans un échaudoir à l'aide du trop-plein de l'échaudoir.

Échangeur thermique à tubes à ailettes

Cet échangeur, type échanges gaz/liquide, est constitué d'un faisceau de tubes dans lequel circule le liquide à réchauffer et au-dessus duquel s'écoulent des gaz d'échappement caloporteurs. Des ailettes fixées aux tubes augmentent la surface d'échange. C'est un échangeur qui sert à chauffer l'eau à toutes sortes de fins, comme l'eau d'alimentation des chaudières ou l'eau de nettoyage (voir Économiseur).

Échangeur thermique à spirales

Cet échangeur est constitué de deux longues bandes de métal plates enroulées concentriquement de façon à former deux spirales étanches et distinctes.



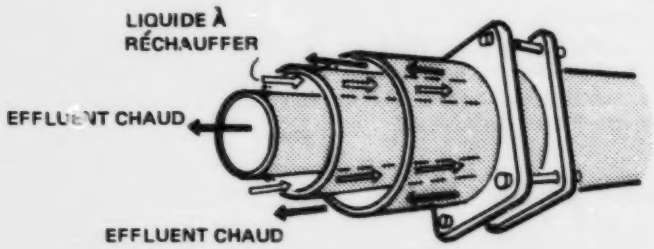
3. Échangeur thermique à spirales

Ses avantages, comparativement à ceux de l'échangeur à calandre, comprennent compacité, exigences d'entretien moins grandes, accessibilité facilitant l'inspection et le nettoyage, et tendance plus faible à l'encrassement.

Les échangeurs de ce type sont fréquemment utilisés dans le traitement de l'eau de refroidissement usée et ils se révèlent également efficaces dans la récupération de la chaleur dégagée par des vapeurs à pression atmosphérique. Un échangeur à spirales peut, par exemple, servir à condenser la vapeur à pression atmosphérique provenant de cuiseurs ouverts, pour chauffer l'eau de nettoyage de l'usine.

Échangeur thermique coaxial

L'échangeur coaxial, à fluides liquides, ou gazeux et liquide, est constitué de deux ou trois tubes concentriques qui s'emboîtent. Le fluide caloporteur ou de refroidissement circule à travers le tube interne, le produit à chauffer ou à refroidir circule dans le deuxième tube et, si l'appareil comporte un troisième tube, le fluide caloporteur ou de refroidissement coule dans le tube externe.

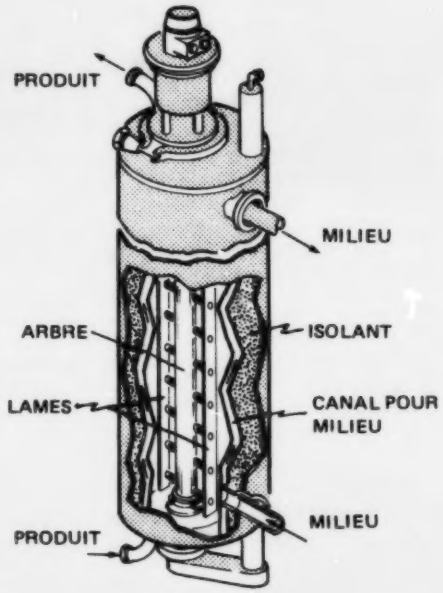


4. Échangeur thermique coaxial

Les échangeurs de ce type doivent être entièrement démontés quand il s'agit de repérer une fuite ou d'enlever les dépôts qui s'y sont formés; il peut être difficile de les maintenir en bon état, mais il est possible de les nettoyer sans les démonter. Ce sont des échangeur particulièrement indiqués pour les liquides visqueux ou pour les liquides ayant un contenu en matières particulaires pouvant aller jusqu'à un pourcentage de 40 %.

Échangeur thermique à lames raclantes

L'échangeur à lames raclantes est formé d'un arbre rotatif de lames montées concentriquement à l'intérieur d'un tube isolé et enveloppé. Le produit circule à travers le tube interne où, constamment, les lames l'agitent en même temps qu'elles raclent les parois du tube pour le nettoyer. Le fluide, caloporteur ou de refroidissement, circule dans l'espace annulaire entre le cylindre de transmission de chaleur et le tube externe qui est isolé.

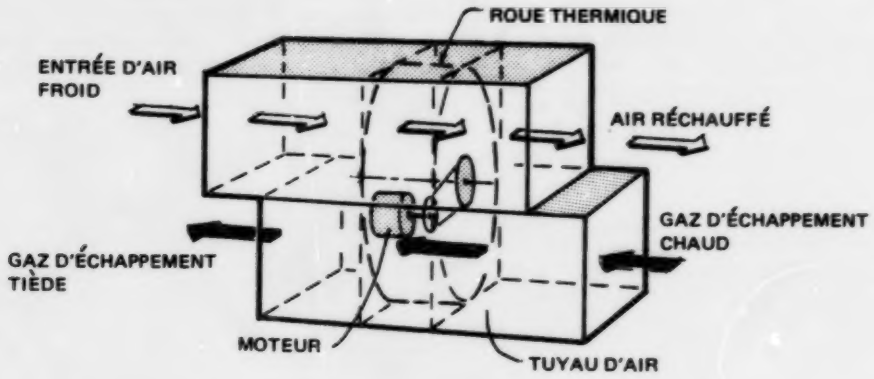


5. Échangeur thermique à lames raclantes

Les échangeurs à lames raclantes sont conçus pour les produits à haut degré d'encrassement et pour les opérations de cristallisation. Ils peuvent traiter des produits contenant jusqu'à 75 % de matières particulaires. Lorsqu'ils sont montés à la verticale, il est facile d'abaisser l'assemblage rotor/lames à des fins d'inspection et de nettoyage.

Régénérateur à roue thermique, ou rotatif

Il s'agit d'un échangeur à échanges gaz/gaz constitué d'un grand disque poreux fait d'un matériau à capacité d'absorption thermique élevée (grillage en acier inoxydable, céramique, etc.). Le disque tourne entre deux conduites d'air accolées, l'une où circule l'air froid et l'autre où circule l'air chaud. La circulation s'y fait à contre-courant. Quand la roue tourne, elle absorbe d'abord la chaleur provenant du courant d'air plus chaud et l'emmagasine temporairement. Elle vient ensuite en contact avec le courant d'air froid et lui communique sa chaleur.



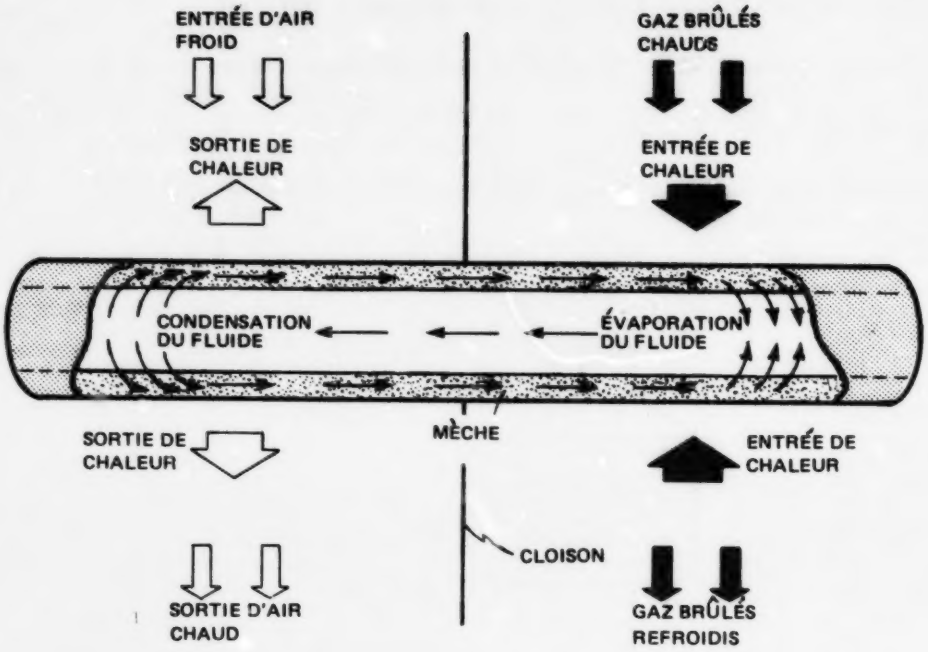
6. Régénérateur à roue thermique ou rotatif

Les applications comprennent le préchauffage de l'air du système de ventilation ou de l'air des séchoirs et des fourneaux, au moyen de l'air d'évacuation.

Caloduc

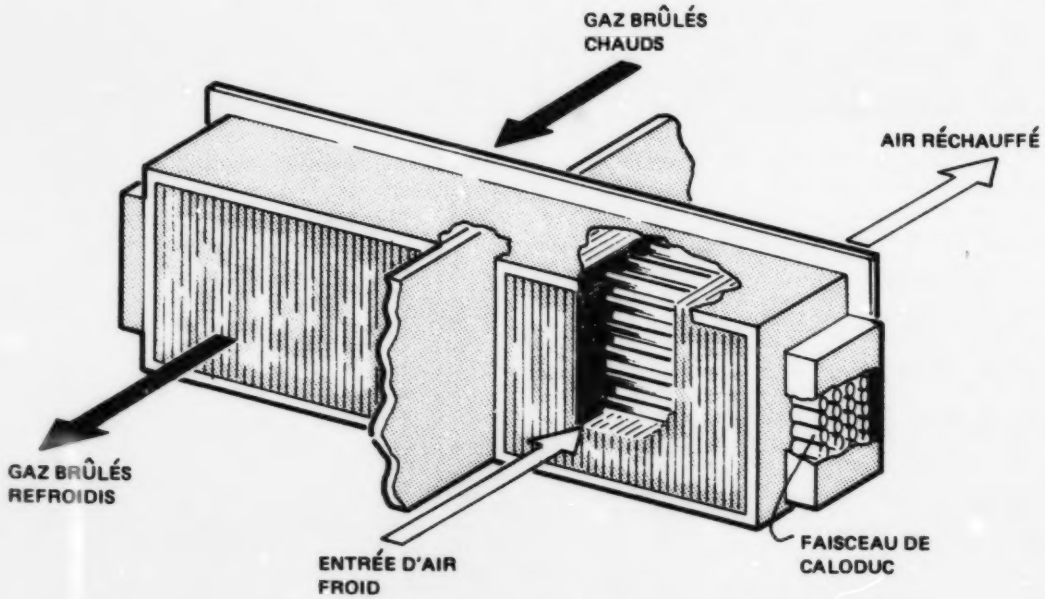
Échangeur thermique de type gaz/gaz ou gaz/liquide, le caloduc est constitué d'un tube scellé contenant un fluide caloporteur et une mèche capillaire annulaire.

La chaleur qui provient des gaz d'évacuation chauds fait se vaporiser le fluide à une extrémité du tuyau. La vapeur se déplace vers l'extrémité froide où, en se condensant, elle abandonne sa chaleur latente et réchauffe le fluide froid. Le condensat retourne ensuite, par capillarité, à l'extrémité chaude du tuyau et est ainsi recyclé perpétuellement.



7. Caloduc

Les caloducs sont généralement disposés en faisceaux, dans lesquels chaque tuyau traverse deux conduites, l'une contenant un fluide chaud et l'autre un fluide froid. Cet échangeur thermique ne permet pas de contamination par transmission. Ses applications comprennent le préchauffage de l'air pour différents types de séchoirs et de fourneaux, ainsi que le préchauffage de l'air de combustion pour les chaudières.



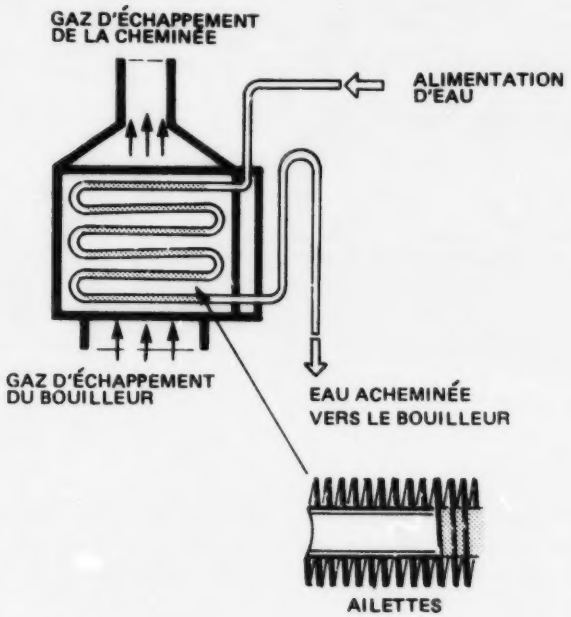
8. Échangeur thermique à caloducs

TYPES PARTICULIERS D'ÉCHANGEURS THERMIQUES

Les échangeurs thermiques que l'on vient de décrire existent aussi sous des formes plus ou moins modifiées.

Économiseur

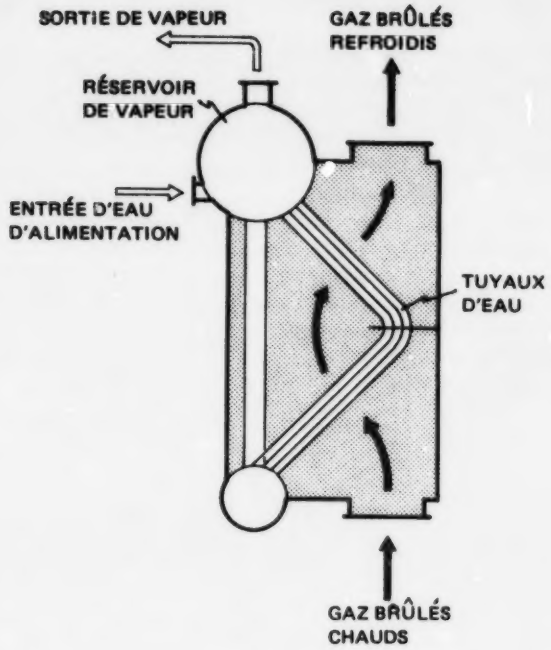
L'économiseur est un échangeur à tubes à ailettes qui transfère la chaleur récupérée des gaz de combustion à l'eau d'alimentation des chaudières.



9. Économiseur à tubes à ailettes

Chaudière-récupératrice

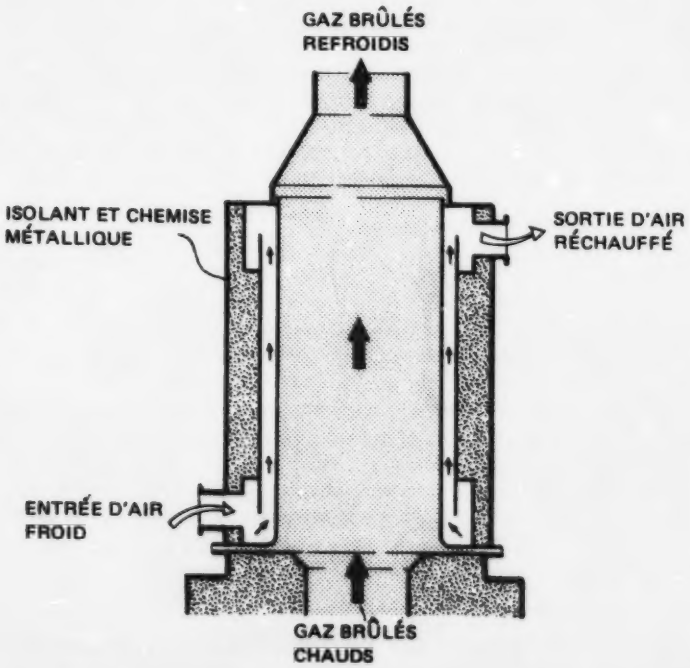
Voici un échangeur thermique dans lequel les gaz d'évacuation chauds passent au-dessus de tubes parallèles contenant de l'eau; l'eau s'évapore et la vapeur est recueillie par un collecteur d'où elle est ensuite aspirée pour servir aux procédés de transformation ou au chauffage. On peut l'utiliser pour récupérer la chaleur provenant des gaz chauds émis par les brûleurs de soies de porc.



10. Chaudière-récupératrice

Préchauffeur d'air de combustion

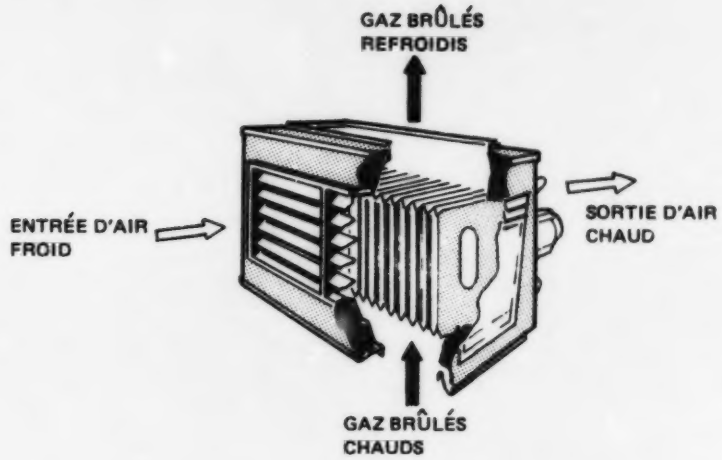
On a ici une variété d'échangeur thermique, à fluides gazeux, qui récupère la chaleur perdue provenant des gaz de combustion d'un générateur d'air chaud pour chauffer l'air d'admission destiné à la combustion.



11. Préchauffeur d'air de combustion

Préchauffeur d'air à plateaux parallèles

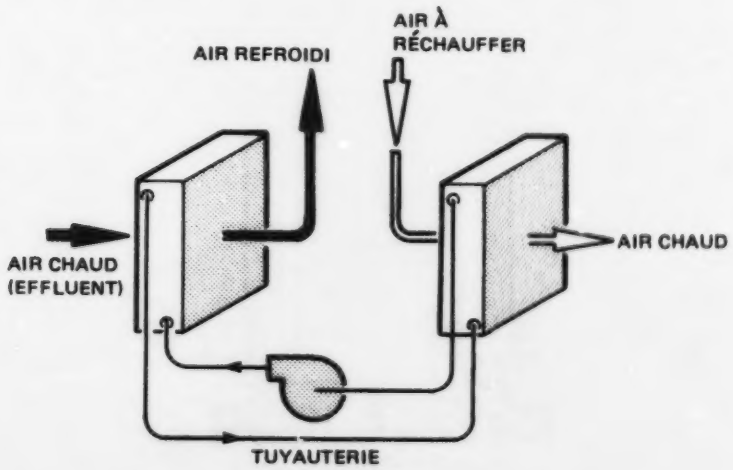
Cet échangeur est constitué d'une série de canaux dans lesquels circulent en alternance des gaz chauds et froids; seule, une mince paroi faite d'un métal conducteur sépare les gaz. S'il est scellé adéquatement, cet appareil prévient toute contamination par transmission; de plus, il est facile à entretenir et à inspecter. Ses applications comprennent la récupération de la chaleur que dégagent la cuisson, le séchage et le fumage, ainsi que les installations de chauffage et de ventilation.



12. Préchauffeur à plateaux

Système de dérivation

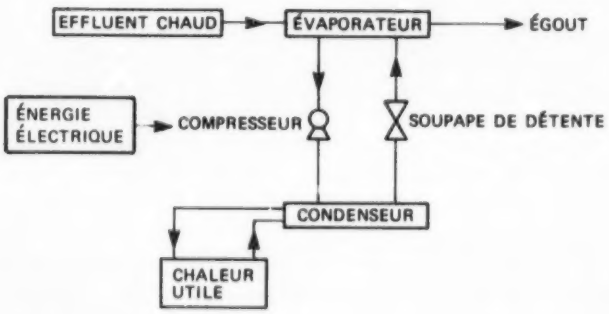
Le système de dérivation comprend un échangeur à fluides gazeux constitué d'un réseau de tubes fermé à travers lequel est pompé un fluide de transmission de chaleur (généralement du glycol). Ce fluide intermédiaire recueille la chaleur des spirales ou des tubes à ailettes installés dans le courant d'air chaud et la libère ensuite en la transmettant aux spirales du circuit d'air froid. Les fuites d'un courant d'air à l'autre sont donc impossibles. On peut utiliser cet échangeur dans les cas où la source caloporteuse et son point d'utilisation sont éloignés, ou lorsque la chaleur doit être recueillie à partir de plusieurs sources. On pourrait s'en servir, par exemple, pour recueillir la chaleur provenant de l'air d'évacuation d'un séchoir pour chauffer l'air d'admission.



13. Système de dérivation

POMPE À CHALEUR

Les échangeurs thermiques peuvent être considérés comme des dispositifs passifs, car ils ne requièrent aucune source d'énergie externe pour accomplir le transfert de chaleur. Ils dépendent plutôt d'un gradient de température pour effectuer la transmission d'une zone de grande concentration d'énergie (source de chaleur) à une zone de plus faible concentration (récepteur). Cependant, il existe des situations dans le secteur des aliments et des boissons où la température du fluide de rejet est plus basse que celle du milieu où l'on compte utiliser cette énergie. Dans de tels cas on fait usage d'un dispositif actif, soit une pompe à chaleur, pour l'échange d'énergie. Les pompes à chaleur ont besoin d'une source d'énergie extérieure pour élever la température de la chaleur récupérée. Fondamentalement, il s'agit d'un cycle de réfrigération inversé. Un liquide contenu dans un évaporateur se vaporise par l'absorption de la chaleur d'une source caloporteuse; puis la vapeur est comprimée à haute pression. À partir de là, elle se rend au condenseur où l'énergie absorbée précédemment est transmise au fluide à chauffer. Étant donné que les pompes à chaleur modernes peuvent atteindre des températures au-dessus du point d'ébulition de l'eau, elles peuvent avoir plusieurs applications, comme la génération directe de vapeur, ou le chauffage de l'eau de nettoyage.



14. Pompe à chaleur

EMMAGASINAGE D'ÉNERGIE THERMIQUE

Les systèmes d'emmagasinage d'énergie thermique peuvent souvent rendre avantageuse la récupération de la chaleur si la production de chaleur perdue et la consommation d'énergie par le fluide récepteur s'effectuent à des moments ou à un taux différents. L'emmagasinage de l'énergie thermique récupérée permet de désaccoupler la production de chaleur perdue de sa consommation. L'énergie thermique est habituellement emmagasinée sous forme de liquide chauffé, l'eau étant le médium de stockage préféré à cause de son coût peu élevé et sa grande chaleur spécifique. Par exemple, l'énergie récupérée des condenseurs d'un système de réfrigération pourrait être emmagasinée sous forme d'eau chaude dans un réservoir isolé et servir au nettoyage de l'usine plus tard durant la journée.

ENCRASSEMENT

L'encrassement se produit à la longue, par l'accumulation sur les surfaces d'échange des dépôts laissés par le passage des fluides. Il peut s'agir de résidus, de dépôts minéraux ou résultant de la corrosion chimique. Il est très important de considérer ce point pour être en mesure de choisir un échangeur thermique qui ait les dimensions appropriées car l'encrassement peut réduire considérablement la capacité de transmission de chaleur et augmenter la chute de pression. Un nettoyage et un entretien périodiques sont donc requis et, comme l'encrassement et les difficultés de nettoyage augmentent avec le temps, les nettoyages doivent être fréquents. Il faudra peut-être prévoir certains types de cloisons qui filtrent les impuretés du fluide caloporteur avant son admission dans l'échangeur afin de réduire les risques d'encrassement.

GIVRE

Dans le cas des échanges air/air, par lesquels on réchauffe l'air venant de l'extérieur, des problèmes de givre peuvent se poser en hiver. Si l'air extérieur est assez froid, la condensation sur le côté chaud de l'échangeur peut se transformer en givre et obstruer le passage de l'air. L'installation des contrôles pour le dégivrage sera nécessaire pour résoudre le problème, ce qui aura aussi pour effet de réduire l'efficacité générale du système.

SYSTÈMES DE SÉCURITÉ ET DE COMMANDE

Dans les usines de transformation des aliments, il faut éviter la contamination de l'eau potable et des produits alimentaires. C'est pourquoi il est important d'envisager l'adoption de mesures de sécurité qui mettent en dérivation le dispositif de récupération de la chaleur lorsqu'il ne fonctionne pas, de façon à ce que les opérations de transformation puissent tout de même se poursuivre. Les commandes des dispositifs de récupération de la chaleur doivent être compatibles avec les appareils qui servent à la transformation des aliments.

Avant d'être livrés à l'usine, les échangeurs thermiques subissent de nombreux tests pour déceler les fuites. Cependant, une fuite peut malgré tout se produire, par exemple à la suite de la rupture d'un joint d'étanchéité ou de fêlures dues aux contraintes. C'est pourquoi, il est recommandable d'installer des dispositifs de surveillance (comme la mesure du pH ou la détection du différentiel de pression) et de commande, là où il y a présence d'eau potable ou de produit alimentaire, afin de détecter les fuites et de prévenir la contamination. Ces indicateurs de mauvais fonctionnement du dispositif doivent être reliés au réseau qui commande les opérations de transformation et au système d'alarme, s'il y en a un.

RÈGLEMENTS, CODES ET NORMES

Il existe, dans tous les pays, un certain nombre de normes et de codes locaux ou nationaux concernant les échangeurs thermiques. Ils s'appliquent souvent et plus strictement à la conception physique qu'à la conception thermique de l'échangeur. Ces codes et réglementations visent à régulariser et à préciser les paramètres de conception, de fabrication et de fonctionnement des échangeurs thermiques et sont instaurés en vue de protéger l'intérêt public (sécurité). Cependant, codes et normes portent davantage sur des dispositifs compliqués, de grandes dimensions, fonctionnant à des pressions élevées, que sur des dispositifs plus simples comme ceux qui sont généralement en usage dans l'industrie des aliments.

En ce qui concerne les exigences imposées par les lois et règlements qui régissent la transformation des aliments, la Loi des aliments et drogues, partie 1, article 7, stipule : «Nul ne doit fabriquer, préparer, conserver, empaqueter ou emmagasiner pour la vente quelque aliment dans des conditions non hygiéniques.»

Plus spécifique à l'industrie des viandes, *Le Manuel des méthodes de l'hygiène des viandes*, chapitre 2.7, paragraphe «Équipement», précise : «Pour assurer l'hygiène des opérations, rien n'est plus important qu'un outillage de conception simple et facile à nettoyer, fait d'un matériau résistant à la corrosion et à la rouille, comme l'acier inoxydable.»

La récupération de la chaleur se fait souvent à propos de procédés ne touchant pas directement à la transformation des aliments; elle ne pose donc pas de problèmes réels de contamination. Cependant, règle générale, si l'échangeur de chaleur doit entrer en contact avec de l'eau potable ou un produit alimentaire, il doit être fait d'un matériau non absorbant, qui résiste à la corrosion, qui puisse être désinfecté et nettoyé très souvent, mais qui ne puisse pas contaminer l'eau ou les aliments, ou leur transmettre des substances toxiques, des odeurs ou des goûts (Code d'usages — Principes généraux d'hygiène alimentaire, Commission du *Codex Alimentarius*).

PROFILS DE LA QUANTITÉ DE CHALEUR RÉCUPÉRABLE PAR SECTEUR INDUSTRIEL

La quantité de chaleur perdue dans une usine varie largement d'un secteur à l'autre dans l'industrie alimentaire, en raison des divers procédés employés et des besoins énergétiques variables.

Il existe également d'importantes différences dans les quantités de chaleur perdue d'une usine à l'autre dans un même secteur. Les écarts sont imputables à des facteurs comme la concentration du produit, le fonctionnement en continu ou par lots, la taille et l'emplacement de l'usine. La quantité réelle de chaleur perdue, potentiellement utilisable, ne peut être déterminée que par une étude approfondie de la situation énergétique de l'usine.

Cependant, il y a des possibilités de récupération de la chaleur perdue propres à tous les secteurs. Ces possibilités sont décrites brièvement ci-dessous.

Viandes rouges

La quantité de chaleur perdue dépend beaucoup du type d'usines de transformation. Dans les abattoirs, une grande partie de l'énergie est utilisée pour la réfrigération des carcasses. Lorsqu'on y transforme des sous-produits, la fonte du gras consomme également beaucoup d'énergie. Dans l'abattage des bovins, le nettoyage requiert également de grandes quantités d'eau chaude, tandis que dans l'abattage du porc, c'est l'élimination des soies qui consomme une grande quantité d'énergie.

La récupération du courant caloporteur des condenseurs de réfrigération et des séchoirs de sous-produits est assez facile tandis que celle des cuiseurs de fondoirs est plus difficile à cause des matières grasses contenues dans les gaz d'écnappement du cuiseur. La chaleur récupérée peut servir au chauffage de l'eau de nettoyage, au préchauffage de l'eau d'alimentation des chaudières ou au préchauffage de l'air d'admission des séchoirs.

Le brûlage des soies de porc procure une source de chaleur importante, car plus de 90 % de l'énergie est rejetée dans l'atmosphère. Cette chaleur perdue peut remplacer une part importante de l'énergie requise pour l'échaudage et l'élimination des soies. Il est également possible de récupérer l'énergie entraînée dans le trop-plein d'eau des échaudoirs de porc.

La transformation des viandes requiert le fonctionnement de nombreux appareils (cuisson, fumage, refroidissement, etc.) et consomme généralement plus intensivement l'énergie que les opérations d'abattage. La réfrigération consomme également des quantités importantes d'énergie. Les sources de chaleur perdue récupérable incluent l'énergie dégagée par les condenseurs, les eaux chaudes usées ainsi que les gaz d'échappement des appareils de cuisson et de fumage.

Volaille

Dans les usines de transformation de la volaille, le chauffage et le refroidissement, deux opérations reliées à l'échaudage et au refroidissement des carcasses, requièrent de grandes quantités d'énergie. Ces deux procédés fonctionnent en maintenant un trop-plein continuel et occasionnent, par conséquent, de grandes pertes d'énergie. Cependant, il est possible de récupérer la chaleur (ou capacité de refroidissement), à partir du trop-plein des échaudoirs (ou des refroidisseurs), et de renvoyer cette énergie aux échaudoirs (ou aux refroidisseurs). Il y a également une quantité importante d'énergie perdue dans la congélation des carcasses. On peut récupérer la chaleur libérée par les condenseurs de réfrigération et l'utiliser pour préchauffer l'eau des chaudières ou l'eau de nettoyage.

Fruits et légumes (congélation et appertisation)

Bien que la proportion d'énergie perdue ne diffère pas beaucoup entre les usines de congélation et les conserveries, l'origine des pertes varie. Dans les usines de congélation, les pertes de chaleur sont principalement attribuables aux condenseurs des installations de réfrigération. La chaleur se retrouve dans le fluide frigorigène et peut facilement être récupérée. Les eaux usées représentent une deuxième source; cependant, la chaleur qu'elles contiennent est de faible qualité et les substances solides en suspension peuvent causer des problèmes d'encrassement dans les échangeurs thermiques. Certains courants caloporteurs peuvent présenter un certain potentiel de récupération s'ils sont interceptés avant de se mélanger au courant principal.

Dans les conserveries, les évents des autoclaves et les eaux usées sont les principales sources de perte de chaleur. La chaleur provenant des autoclaves peut être récupérée, à condition qu'aucune contrepression ne soit appliquée aux évents, car l'écoulement libre de la vapeur est essentiel durant la ventilation si on veut que le traitement thermique des conserves soit adéquat.

L'utilisation de la chaleur perdue lors de la mise en conserve peut s'effectuer en de nombreux points de l'usine. Le chauffage de l'eau pour le nettoyage des boîtes et des produits, pour le nettoyage de l'usine et pour l'alimentation des chaudières fait partie de ces situations où il est possible d'utiliser la chaleur récupérée.

Produits laitiers

Les usines de transformation des produits laitiers consomment habituellement l'énergie de façon efficace. La chaleur acquise par le lait pendant sa pasteurisation sert normalement au réchauffement du lait qui entre dans le régénérateur. Une importante proportion de la chaleur perdue dans la transformation des produits laitiers provient des condenseurs de réfrigération. Celle-ci peut servir au réchauffage de l'eau de nettoyage, au préchauffage de l'eau d'alimentation des chaudières ou au réchauffage des réservoirs de levain, à certaines étapes de la transformation. Les effluents et les gaz d'échappement des séchoirs-atomiseurs représentent d'autres sources importantes de perte de chaleur. L'utilisation des effluents pour la récupération de la chaleur est restreinte en raison des impuretés qu'ils contiennent, mais les gaz d'échappement du séchoir peuvent servir au préchauffage de l'air qui l'alimente.

Biscuiteries et boulangeries

Les gaz d'échappement provenant des fours, des friteuses, des laveuses de vaisselles et des chaudières constituent les principales sources de perte de chaleur. On peut produire, à partir de ces sources, de l'eau chaude pour le nettoyage de l'usine et des moules. On peut également récupérer la chaleur de moins bonne qualité provenant de l'échappement des fours pour des opérations qui ne demandent pas une température élevée (imperméabilisation, fermentation).

Oeufs

Comme dans l'industrie des produits laitiers, la chaleur acquise par les ovoproduits pendant la pasteurisation est transmise aux produits d'oeuf froids qui pénètrent dans le régénérateur. Les principales sources de perte de chaleur sont généralement attribuables au type de produit fabriqué, mais il s'agit généralement des installations de réfrigération, des effluents qui proviennent du lavage des oeufs et de l'air d'évacuation provenant des séchoirs.

Les applications comprennent le préchauffage de l'eau d'alimentation des chaudières, le chauffage de l'eau de lavage des oeufs et de l'eau de nettoyage de l'usine, et le préchauffage de l'air d'admission des séchoirs.

ANALYSE FINANCIÈRE DES INVESTISSEMENTS EN MATÉRIEL DE RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR

L'étude technique du matériel et des diverses possibilités qui s'offrent à lui permet au transformateur d'aliments d'évaluer la faisabilité de la récupération de la chaleur et de choisir les appareils les mieux adaptés, compte tenu de sa situation. La décision importante que ce fabricant doit maintenant prendre est de savoir si l'adoption de ce procédé est possible financièrement et, si oui, quel est le meilleur appareil.

Évaluer financièrement le projet revient à déterminer s'il fera économiser de l'argent à l'entreprise et s'il augmentera ses profits. Le système de récupération de la chaleur devrait faire économiser de l'argent au coût actuel de l'énergie, et toute augmentation de ce coût ne fait qu'augmenter le rendement financier de l'entreprise. La faisabilité technique d'un investissement ne le rend pas obligatoirement viable du point de vue financier. Plusieurs facteurs peuvent multiplier ou au contraire ruiner les chances qu'un investissement tel que l'installation d'un échangeur thermique voie le jour. Ces facteurs ne sont pas immuables et, parmi eux, on retrouve le coût actuel et futur de l'énergie, les taux d'intérêt, le rendement potentiel du matériel, le coût en capitaux, le coût de l'entretien, les impondérables de la technologie, l'incidence fiscale du projet, les programmes existants d'aide et d'encouragement, et les effet secondaires du projet, sur la pollution de l'environnement, par exemple.

L'analyse financière sert à évaluer toutes ces questions. Elle met en rapport les études de faisabilité et les critères financiers qui entrent en jeu dans les prises de décision.

L'analyse financière doit être menée de façon à permettre aux décideurs d'évaluer les conséquences, sur leurs décisions, de tout changement survenant dans la situation. L'analyse doit donc énoncer clairement tous les éléments qu'elle a examinés (coûts, prix, taux d'actualisation, etc.) de telle sorte qu'elle puisse être refaite sans trop de remaniements et que la sensibilité des conclusions puisse être éprouvée dans un contexte différent ou à la lumière de nouvelle hypothèses.

Une analyse financière, ou économique, correcte demande la quantification en dollars de tous les coûts,

économies et profits entraînés par le projet et répartis sur toute sa durée réelle. Puisque tout investissement en matériel, susceptible d'entraîner des économies durant plusieurs années à venir, comporte une certaine valeur de renonciation, toutes les entrées et sorties de fonds découlant du projet doivent être exprimées en valeurs actualisées pour permettre une comparaison réelle des différentes options financières. Le taux d'actualisation est le taux de rendement qu'auraient les fonds engagés dans un projet s'ils étaient affectés à un autre investissement. Sont considérés comme autres investissements les soldes bancaires, les actions, les obligations, tout autre matériel de production, toute campagne de mise en marché. Actualiser les flux monétaires permet d'adopter une seule période de référence : le présent.

On ne doit pas tenir compte de l'inflation ou alors on doit majorer tous les montants du taux d'inflation. Il est préférable de ne pas recourir à cette dernière méthode pour deux raisons : d'une part, les taux d'inflation futurs sont difficiles à prévoir et, d'autre part, les conséquences de l'inflation sur des montants actualisés, calculées à l'aide d'un taux réaliste, sont nulles sauf dans le cas de postes qui connaissent un taux d'inflation particulier. Si l'on pense que le coût réel de l'énergie, ou tout autre coût, connaîtra une hausse plus rapide que les autres coûts, cette différence dans les taux d'augmentation doit se retrouver dans l'analyse financière, soit comme taux d'inflation, soit comme taux d'augmentation réelle.

Quand l'analyse porte sur des valeurs majorées du taux de l'inflation le facteur d'actualisation doit être le taux du marché qui inclut le taux d'inflation. Au contraire, si les valeurs ne sont pas majorées du taux de l'inflation, l'actualisation doit se calculer selon le taux d'emprunt ou le taux de rendement désiré par l'entreprise, duquel on déduit le taux d'inflation actuel.

Les étapes de l'analyse financière

L'analyse financière, ou l'analyse économique des coûts et rendements, comporte les étapes suivantes :

1° Évaluation des procédés et de l'équipement du point de vue technologique, et choix de différentes méthodes permettant de réaliser des économies;

2° Évaluation des obstacles à la réalisation des différents objectifs;

3° Définition et évaluation précise des profits ou des économies à réaliser, par exemple :

— l'économie de combustible dans le procédé de génération de l'énergie perdue;
— l'économie de combustible dans le procédé récepteur de l'énergie récupérée;
— la réduction des frais d'évacuation de l'énergie perdue;
— la réduction du coût de la main-d'oeuvre;
— les changements au chapitre de la productivité;
— les modifications apportées à d'autres procédés;
— les améliorations apportées à l'environnement et à l'hygiène;
— la valeur-rebut de l'équipement;
— l'incidence fiscale;
— les avantages tirés des programmes d'aide et d'encouragement.

4° Définition et évaluation précise des coûts :

Dépenses et immobilisations :

— terrains et bâtiments,
— machinerie et équipement,
— études de conception et de génie,
— installation (incluant le coût pour la préparation du lieu d'installation),
— coût de mise en oeuvre,
— coût de remplacement de l'équipement.

Frais d'exploitation :

— main-d'oeuvre,
— matériaux et fourniture,
— entretien et réparation,
— coûts en énergie, associés à l'opération du système de récupération.

Incidence fiscale et autres coûts, comme un accroissement des frais généraux ou d'administration.

5° Disposition en tableaux de tous les coûts et rendements pour la période étudiée; calcul et disposition en tableaux de la valeur actuelle de chaque élément.

6° Présentation claire de tous les coûts et rendements (après en avoir fait une évaluation précise) de façon à ce qu'on puisse comprendre facilement les données et les hypothèses qui ont servi à les calculer.

On peut alors évaluer les différentes possibilités et les comparer entre elles ainsi qu'aux critères d'investissement fondamentaux de la société.

Toute évaluation approfondie d'un investissement à caractère technologique doit être accompagné d'une disposition en tableaux de tous les coûts, les prix, les revenus, les bénéfices, les économies, etc., ainsi que des hypothèses à partir desquelles ces chiffres sont calculés. On effectue alors une analyse de sensibilité, en modifiant les hypothèses, afin de déterminer les effets qu'elles ont, individuellement et collectivement, sur les conclusions. On peut ainsi évaluer les incertitudes reliées au projet.

Cette analyse de sensibilité des hypothèses, à laquelle s'ajoute une évaluation des critères d'investissement, des flux monétaires ainsi que des moments où ils sont disponibles, permet de prendre une décision avisée concernant les investissements en matière de technologie nouvelle. Lorsque les évaluations des aspects technologiques sont bien faites et bien présentées, il est facile d'établir des comparaisons entre les différentes possibilités d'investissement. En étant mieux renseignés sur la rentabilité des nouvelles technologies en matière de conservation de l'énergie, les décideurs seront mieux à même de les comparer aux autres possibilités d'investissement qui s'offrent à eux. Ainsi, si les conditions d'investissement changent, les priorités d'investissement seront modifiées en conséquence.

ÉTUDES DE CAS

Des études de cas sont présentées dans les pages suivantes afin d'illustrer les bénéfices réalisés par des industries de transformation alimentaire qui ont fait l'installation de systèmes pour récupérer la chaleur. L'étude de cas n° 1 comporte un exemple d'analyse technique et financière détaillée.

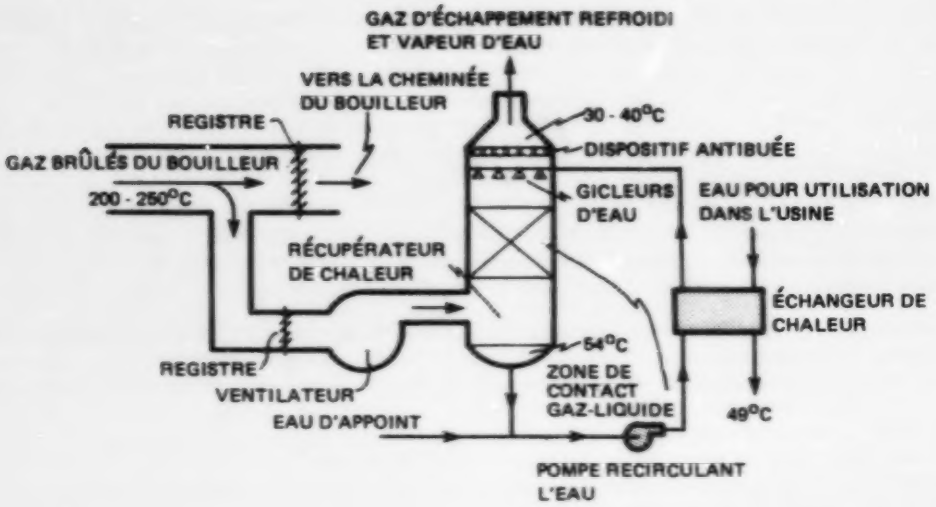
Étude de cas n° 1 — Cuiseurs de fondoirs

Dans l'industrie de la transformation des viandes, les cuiseurs de fondoirs sont un exemple représentatif des occasions de récupérer la chaleur, principalement à cause de leur haute température et du volume important de vapeur qu'ils produisent. La procédure traditionnellement employée était de faire passer la vapeur du cuiseur dans un condenseur de type pulvérisateur, qui utilisait l'effluent de l'usine comme agent de condensation. Au cours de la condensation, toute la chaleur latente et une partie de la chaleur sensible contenues dans la vapeur étaient transférées à l'agent de condensation. On faisait ainsi passer l'effluent réchauffé dans un puits, d'où elle était pompée vers l'échangeur thermique qui servait à préchauffer de l'eau.

Un système apparenté à celui que nous venons de décrire a été installé dans une usine de transformation des viandes. Malheureusement, l'opération a été un échec, l'échangeur thermique s'étant encrassé rapidement. L'encrassement était imputable à la présence de graisse et d'autres déchets dans l'effluent utilisé comme agent de condensation. Ce moyen de récupérer la chaleur a été abandonné, parce qu'il nécessitait des nettoyages fréquents et coûteux des tubes de l'échangeur. Outre ses problèmes d'encrassement, le système avait aussi des carences quant à l'efficacité car en condensant la vapeur avant de la faire passer dans l'échangeur thermique, il transformait une source de chaleur de haute qualité en chaleur de qualité inférieure. La décharge du condenseur était en effet rarement plus chaude que 60 °C au moment où elle atteignait l'échangeur thermique. Il aurait été bien préférable de récupérer la chaleur à partir de la vapeur saturée à une pression manométrique de 101,3 kPa plutôt qu'à partir d'une eau à 60 °C.

Un fondoir a récemment installé un système de préchauffage de l'eau potable, qui récupère la chaleur à partir de la vapeur s'échappant de quatre cuiseurs du fondoir. Chaque cuiseur sous pression, d'une capacité de 3630 kg, laisse échapper 2105 kg de vapeur au cours du processus de cuisson de 2,4 heures. La demande moyenne d'eau chaude à 93 °C, à des fins de production et d'hygiène au cours de la période de production, est de 480 L/min.

On récupère la chaleur en faisant passer la vapeur à pression atmosphérique dans un échangeur thermique qui la condense. La vapeur s'échappant de chaque cuiseur est amenée par des conduites jusqu'à un distributeur qui est raccordé à un réservoir capable de contenir la charge entière d'un cuiseur. L'échangeur thermique choisi, un échangeur à spirales, favorise une turbulence élevée du milieu; il est facile à inspecter et à nettoyer, et il permet de sous-refroidir la vapeur à 57 °C. On peut ainsi récupérer une partie de la chaleur sensible. La vapeur excédentaire est envoyée à deux des condenseurs du type pulvérisateur déjà installés.



15. Système de récupération des cuiseurs de fondoirs

Une analyse rigoureuse du système a cependant révélé la présence d'un léger déséquilibre entre les flux d'énergie, soit celui du procédé de la fonte, qui fournit la chaleur, et celui du système sanitaire qui la consomme. En effet, jusqu'à 16 heures, la demande d'eau chaude de l'usine dépasse la capacité de production de chaleur des cuiseurs. Après 16 heures, il y a par contre un excédent de chaleur. Pour remédier à cette situation, on a conservé un système ordinaire de chauffage de l'eau, qui permet de combler le déficit, et on a installé un système de dérivation par lequel s'échappe la chaleur excédentaire quand on ne l'utilise pas.

Le travail relié au traitement de la vapeur des cuiseurs n'est pas modifié. Auparavant, il fallait accomplir certaines tâches pour faire fonctionner et nettoyer les condenseurs du type pulvérisateur, avant de faire passer l'eau et la chaleur récupérée directement dans le système principal. Or, le fonctionnement, l'entretien et le nettoyage de l'échangeur thermique à condensation de vapeur exigent en gros la même quantité de travail.

La chaleur récupérée n'étant pas utilisée dans le procédé de la fonte, le procédé de récupération de la chaleur n'entraîne donc aucune économie de carburant à ce stade.

La chaleur récupérée doit servir à chauffer l'eau utilisée dans le système sanitaire et dans d'autres procédés de production. L'économie réalisée correspond donc à la quantité de combustible qu'on aurait normalement consommée pour chauffer l'eau, qui est actuellement chauffée avec la chaleur récupérée à partir des cuiseurs de fondoirs.

Au moment de la mise en marche des cuiseurs, de 7 h 30 à 9 h, la demande moyenne équivalente d'eau chaude dépasse le taux d'échappement de la vapeur. L'économie de combustible correspond alors simplement à la quantité totale de chaleur récupérable pendant cette période. On a calculé une économie en gaz naturel équivalente à 54 425 m^3 par an, ce qui représente une économie annuelle de 4245 $.

Au cours de la période de fonctionnement maximal du fondoir, de 9 h à 16 h, la demande équivalente d'eau chaude dépasse le taux d'échappement de la vapeur. L'économie de combustible correspond alors simplement à la quantité totale de chaleur récupérable, soit, après calcul, à une économie en gaz naturel équivalente à 507 970 m^3 par année, pour une économie annuelle de 39 621 $.

Au cours de la période de nettoyage de l'usine, entre 16 h et 20 h, la quantité de vapeur s'échappant du fondoir dépasse la quantité d'énergie exigée pour le chauffage de l'eau. On calcule alors les économies en se basant sur l'énergie thermique qu'il faut pour élever la température de 91 L/min d'eau de 13 °C à 93 °C. La demande n'est pas assez forte alors pour qu'on récupère par sous-refroidissement la chaleur sensible. Après calcul, on estime qu'une économie de 4847 $/an est réalisée, correspondant à 62 150 m^3 de gaz naturel.

Les économies de gaz naturel qu'on vient de calculer s'élèvent donc à un total de 624 545 m^3/an, ce qui correspond à une réduction des dépenses de 49 053 $/an.

Le calcul de la période de récupération simple est une méthode couramment utilisée pour évaluer l'à-propos d'un investissement. Il s'agit de la période de temps sur laquelle s'étend la récupération de l'investissement

original et au terme de laquelle les rendements au comptant et les coûts au comptant s'annulent. Cet outil de mesure simple permet de décider s'il faut effectuer ou non une analyse plus détaillée de la situation. Cette méthode a cependant l'inconvénient de ne pas tenir compte de certaines informations importantes dont les variations du flux monétaire. Ces variations fonctionnelles et financières sont les avantages fiscaux au cours des premières années de fonctionnement, l'entretien, la réparation ou le remplacement de l'équipement, les modifications du prix réel et les coûts exceptionnels au cours de années ultérieures, ainsi que l'importance du taux d'intérêt dans l'actualisation des coûts et des rendements futurs. Ainsi, la période de récupération simple de l'échangeur thermique à spirales, installé à un coût de 124 290 $ dans le cas que l'on vient d'étudier est de 2,5 ans $\frac{(124\ 290\ \$)}{(49\ 053\ \$/an)}$. On trouvera dans les paragraphes qui suivent une analyse financière plus approfondie de la question.

Le Tableau 1 illustre les différentes méthodes d'analyse financière du cas n° 1. On présume que l'augmentation du prix du gaz naturel sera de 2 % supérieure à celle de tous les autres facteurs de coût ainsi que du taux général d'inflation. Ce chiffre correspond au taux de croissance réel estimé par Énergie, Mines et Ressources. On calcule donc l'économie annuelle de combustible en multipliant l'économie annuelle courante de combustible par la valeur du taux composé d'augmentation des prix. Si d'autres économies (de main-d'oeuvre et de matériaux, par exemple) étaient réalisées, elles auraient une valeur constante, dans la mesure, naturellement, où l'on présume qu'elles augmenteraient au même rythme que l'inflation. Il suffit d'additionner tous ces coûts pour obtenir les économies annuelles pour chaque année.

TABLEAU 1 Analyse financière de l'échangeur thermique à spirales (Étude de cas n° 1)

Année	Coût	Taux d'augmentation du prix réel (2 %)	Économies annuelles $ courants (49 053)	Facteur d'actualisation (10%)	Valeur actuelle économies annuelles	Valeur actuelle accumulée économies annuelles	Valeur nette économies-coûts
0	124 290 $						
1		1,0200	50 034	0,90909	45 486	45 485	–78 804
2		1,0404	51 035	0,82645	42 177	87 663	–36 627
3		1,0612	52 055	0,75131	39 110	126 773	2 483
4		1,0824	53 096	0,88301	36 266	163 039	38 749
5		1,1041	54 158	0,62092	33 628	196 667	72 377
6		1,1262	55 242	0,56447	31 182	227 849	103 559
7		1,1487	56 346	0,55316	28 915	256 764	132 474
8		1,1717	57 473	0,46651	26 812	283 576	159 286
9		1,1951	58 623	0,42410	24 862	308 438	184 148
10		1,2190	59 795	0,38554	23 054	331 491	207 201

Dans le cas n° 1, on utilise un taux d'intérêt réel de 10 % comme facteur d'actualisation, ce qui signifie que la société s'attend à un taux de rendement de 10 % de son investissement, déduction faite du taux d'inflation. Le facteur d'actualisation est calculé à partir de cette valeur à 10 %. Ce qui signifie, par exemple, que 0,75 $ économisé aujourd'hui vaudra 1 $ dans 3 ans compte tenu de l'accumulation des intérêts composés. On multiplie le facteur d'actualisation par les économies annuelles totales de chaque année (dans le cas présent, elles se résument au gaz naturel épargné) afin d'obtenir la valeur actuelle de l'économie réalisée pour l'année. On soustrait de ce chiffre la valeur actuelle des coûts, ce qui donne la valeur actuelle nette des économies pour chaque année. Dans le cas présent, les seuls coûts sont les dépenses en immobilisations initiales. On présume que la valeur-rebut nette de l'équipement est nulle. On ne prévoit pas non plus d'autre dépense (immobilisations, etc.) pendant la vie du projet.

La valeur nette actuelle du projet est de 207 201 $ en utilisant un facteur d'actualisation de 10 %, en évaluant la durée de vie du projet à 10 ans, et en attachant aux prix du gaz naturel un taux d'augmentation de 2 % supérieur au taux de l'inflation.

Pour qu'on puisse s'engager dans un projet, il faut que la valeur actuelle nette soit positive, ce qui indique que l'investissement générera un profit, compte tenu de l'exactitude des hypothèses à partir desquelles on a calculé la valeur du projet.

Les différentes valeurs obtenues permettent de calculer le rapport coûts-rendements (C/R). Dans le cas n° 1, le rapport C/R est le suivant :

$$C/R = \frac{331\ 490\ \$}{124\ 290\ \$} = 2{,}66$$

Pour qu'un investissement soit financièrement viable, la valeur du rapport coûts/rendements doit être supérieure à 1.

Comme nous l'avons vu précédemment, la période de récupération correspond à la période de temps nécessaire pour que la valeur actuelle nette des rendements et la valeur actuelle nette des coûts s'annulent. Le Tableau 1 nous montre que cette période s'étend presque jusqu'à la fin de la troisième année (2,9 ans).

Nombre de sociétés se fixent, entre autres, un des deux critères d'investissement suivants : tous les investissements doivent être récupérés sur une période de temps précise ou dépasser un taux de rendement interne précis. Si les projets étudiés ne rencontrent pas ces critères, ils sont rejetés.

Étude de cas n° 2 — Gaz de combustion

Canada Packers a récemment installé un modèle nouveau et très efficace d'échangeur thermique dans son usine de Winnipeg.

On utilise un récupérateur de chaleur à contact direct pour récupérer la chaleur à partir des gaz de combustion de l'usine. Les gaz de combustion remontent dans le récupérateur, dans lequel on pulvérise de l'eau. Cette eau est recirculée avec une quantité infime d'eau d'appoint. Dans les meilleures conditions, l'eau qui sort du récupérateur a été chauffée à 54 °C. Les gaz de combustion sont quant à eux refroidis de 215 °C à 30-40 °C. On a prévu des registres qui dirigeront les gaz de combustion vers une cheminée principale, s'il se produit une panne du système.

L'eau de recirculation s'écoule à travers un échangeur thermique à plateaux, après quoi elle retourne au récupérateur. L'eau qui sert à la transformation, propre et froide, est préchauffée jusqu'à 50 °C dans l'échangeur; elle peut être chauffée davantage au moyen de vapeur et être utilisée pour des besoins d'eau très chaude dans l'usine.

Le Tableau 2 présente l'analyse financière de cette étude de cas.

TABLEAU 2 Analyse financière (Étude de cas n° 2)

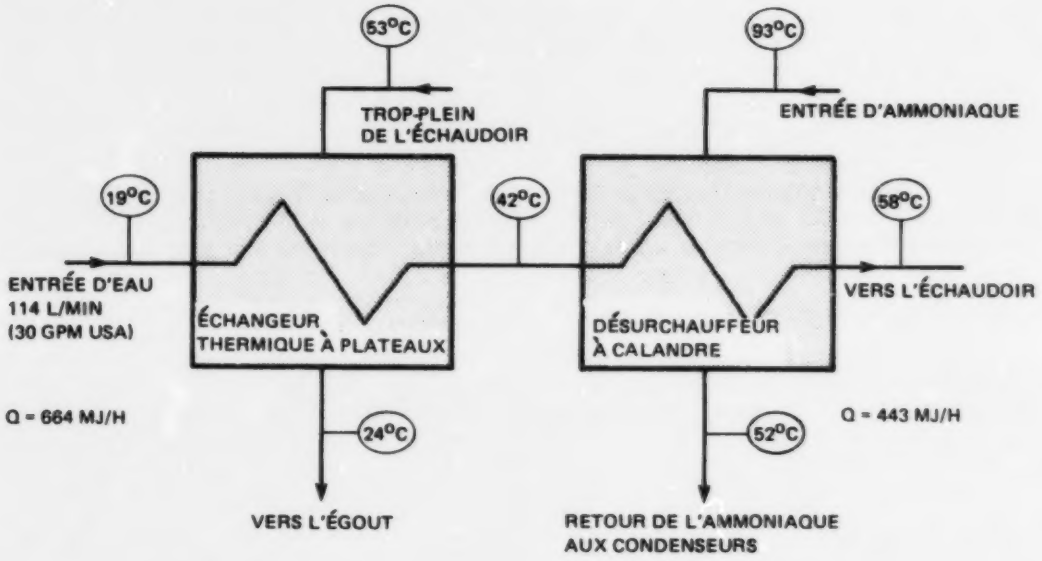
Coût du projet	
Récupérateur et dispositifs de commande	225 000 $
Installation et frais connexes	175 275 $
Coût total, installation comprise	400 275 $
Frais d'exploitation	
Coût annuel du combustible avant démonstration (consommation annuelle de gaz naturel : $9{,}8 \times 10^6$ m^3 @ 152 \$/10^3 m^3)	1 489 600 $
Coût annuel du combustible après démonstration ($8{,}625 \times 10^6$ m^3 @ 152 \$/10^3 m^3)	1 311 000 $
Économie annuelle du combustible après démonstration ($1{,}175 \times 10^6$ m^3 @ 152 \$/10^3 m^3)	178 600 $
Coûts marginaux annuels s'ajoutant par augmentation (services publics et entretien)	27 900 $
Économie annuelle nette	150 700 $
Période de remboursement simple	2,7 ans

Étude de cas n° 3 — Désurchauffeur et échaudoir — Transformation de la volaille

Le cas de la société Gold Kist Inc., d'Elligay en Ceorgie (É.-U.), qui se spécialise dans la transformation de la volaille, est l'illustration d'une application intéressante. De concert avec le Ministère de l'Énergie des États-Unis et l'Institute of Technology de Georgie, cette société a mis sur pied un projet comportant la conception, l'installation et le contrôle d'un système récupérant la chaleur à partir du trop-plein des échaudoirs (eau résiduaire chauffée) et d'un condenseur du système de réfrigération utilisant de l'ammoniaque comme réfrigérant.

Pour des raisons d'hygiène, le réservoir d'échaudage dans lequel sont immergées les carcasses de volaille doit constamment déborder. Le trop-plein, dont la température est de 53 °C, s'écoule à un rythme variant entre 76 L/min et 113 L/min, et contient un taux élevé de matières en suspension. Afin d'éviter l'encrassement de l'échangeur thermique, on fait cascader le trop-plein au-dessus d'une surface filtrante parabolique. L'échangeur thermique choisi est un échangeur à plateaux constitué de plateaux en acier inoxydable. On l'a choisi en raison de sa compacité, de son coefficient élevé de transfert de chaleur et de sa facilité de nettoyage.

La température de l'ammoniaque, à l'entrée des condenseurs vaporisateurs, varie entre 93 °C et 105 °C; le débit varie entre 3500 kg/h et 3850 kg/h. On a choisi, pour le désurchauffeur, un échangeur thermique à calandre, avec de l'ammoniaque chaude s'écoulant dans les tubes.



16. Schéma des systèmes de récupération des échaudoirs de volaille et du désurchauffeur

Le trop-plein d'eau usée provenant de l'échaudoir est filtré puis canalisé à travers l'échangeur thermique à plateaux. Circulant à contre-courant dans l'échangeur, l'eau potable de l'usine (à 19 °C), est préchauffée afin de servir comme appoint pour l'échaudoir. Cette eau d'appoint est ensuite dirigée vers le désurchauffeur, où sa température est élevée de 42 °C à 58 °C par l'ammoniaque qui coule à contre-courant. L'eau d'appoint est ensuite acheminée vers le réservoir de l'échaudoir. Le schéma qui suit illustre le rendement des systèmes de récupération de la chaleur. On pourrait obtenir un rendement encore plus élevé en installant un réservoir d'eau chaude et une pompe de recirculation, lesquels permettraient d'utiliser ou d'emmagasiner en tout temps, et non pas seulement lorsque les échaudoirs fonctionnent, la chaleur provenant des condenseurs d'ammoniaque.

Dans les usines de transformation des aliments, on doit à tout prix éviter la contamination de l'eau potable servant à la transformation. C'est pourquoi on a spécifié que l'échangeur thermique du trop-plein de l'échaudoir doive être équipé d'un système de détection de la pression différentielle, qui mette hors circuit la pompe électrique d'eau usée, lorsque la pression de cette eau dépasse la pression de l'eau potable. On a également installé un système de vérification et de contrôle permanent du pH dans le collecteur d'eau reiié au désurchauffeur d'ammoniaque; ce système permet de détecter toute fuite d'ammoniaque dans l'eau potable.

Les chercheurs ont calculé, à partir d'une analyse des coûts réels de fonctionnement, la temps de remboursement du capital d'un tel système (voir le Tableau 3).

TABLEAU 3 Analyse financière (Étude de cas n° 3)

Système	Économies d'énergie (MJ/h)	Dépenses en immobilisations ($)	Économie d'énergie ($)	Période de remboursement du capital (années)
Système de récupération du trop-plein de l'échaudoir	664	13 287	16 921	0,78
Système de récupération des condenseurs	443	29 038	11 515	2,5
Systèmes combinés	1107	42 325	28 436	1,5

Étude de cas n° 4 — Brûleur des soies — Abattoir porcin

On accorde de plus en plus d'importance aux questions énergétiques dans l'industrie agro-alimentaire. À ce chapitre, on cite fréquemment le procédé du brûlage des soies, dans l'industrie de l'abattage du porc, comme étant l'une des opérations où se produisent les plus grandes pertes d'énergie. En temps normal, l'énergie thermique produite par le rideau de flammes ne sert qu'à brûler les soies des carcasses de porcs qu'on fait passer au travers. L'énergie excédentaire fait donc régner dans cette partie de l'usine une chaleur torride.

Préoccupée par cette situation, la direction de l'abattoir Olivier Bienvenue, de Saint-Valérien (Québec), a eu recours aux services de la société Sonairtech, Inc. Cette société a conçu un système intégré à l'usine, qui permet non seulement de produire, avec la chaleur récupérée, l'eau chaude nécessaire aux diverses opérations d'abattage, mais aussi de satisfaire, dans une certaine mesure, aux besoins de climatisation de l'usine. Une brève description du système suit :

1° Récupération air/eau

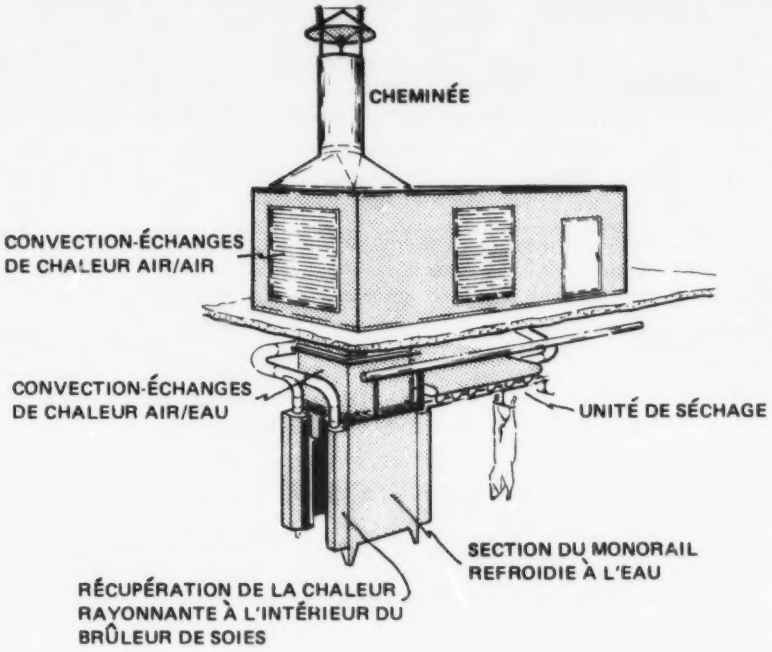
Deux modules assurent une récupération efficace de la chaleur :

(a) Des unités ont été installées sur les deux parois intérieures de la structure du brûleur pour récupérer la chaleur radiante;
(b) Une unité de récupération air/eau (échangeur à tubes à ailettes) a été installée au dessus du brûleur. Les gaz chauds circulent à travers l'unité qui récupère une grande partie de la chaleur qu'ils contiennent.

En hiver, on fait circuler directement dans ces unités de récupération l'eau froide en provenance du réservoir de stockage, ce qui lui permet d'atteindre, à la sortie une température moyenne de 60 °C. On emploie cette eau chaude dans les opérations d'abattage. En été, par contre, on dirige d'abord l'eau vers le serpentin installé dans la conduite principale du système de ventilation qui sert à la climatisation de l'air d'entrée. L'eau, ayant ainsi gagné quelques degrés, est ensuite dirigée vers les deux unités de récupération.

2° Récupération air/air

On a installé un module de récupération air/air, constitué d'un faisceau de tubes, au-dessus de l'échangeur air/eau. Cette unité permet, en récupérant un partie de l'énergie résiduelle des gaz, de réchauffer l'air venant de l'extérieur pendant les périodes froides. On peut ainsi diriger cet air réchauffé vers le plancher de l'abattoir de façon à y maintenir une température confortable pendant la saison froide.



17. Système de récupération du brûleur des soies de porc

Il est à noter que ce système, très souple, peut être adapté pour chauffer l'eau à 60 °C, à 80 °C ou à toute autre température; il suffit alors de contrôler l'arrivée de l'eau dans l'échangeur, ce qui va, bien entendu affecter le volume d'eau chaude obtenue.

Étude de cas n° 5 — Transformation des fruits et légumes

La société Green Giant du Canada Limitée a étudié et installé un certain nombre d'échangeurs thermiques dans divers secteurs de ses usines de transformation des fruits et légumes. Au nombre des projets réalisés figurent les suivants :

a) L'installation d'un échangeur à calandre qui a coûté 3200 $ (installation comprise) et qui sert à récupérer la chaleur de l'évacuation des chaudières. Le système permet une économie annuelle de 1573 $. Ceci représente donc une période de remboursement simple d'environ 2 ans.

b) La chaleur des condenseurs vaporisateurs, partie intégrante du système de réfrigération d'un entrepôt frigorifique, est récupérée pour combler des besoins en chauffage de l'air. Pour adapter les condenseurs vaporisateurs à des fins de chauffage, ce qui comprend la pose des conduites, l'isolation, les registres et l'entraînement mécanique modulateur, il a fallu débourser 10 400 $. Comme on économise ainsi 5200 $ de combustible par année, la période de remboursement simple de l'investissement est de 2 ans.

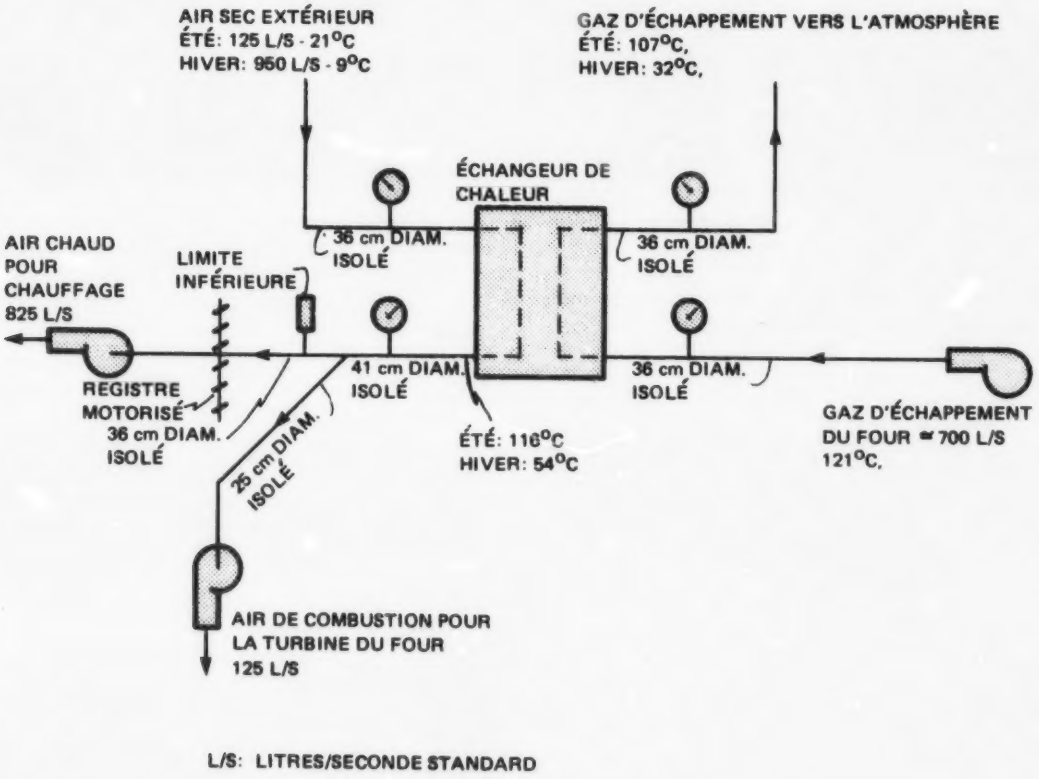
Ces projets illustrent à quel point les sommes relativement minimes, investies dans les échangeurs thermiques, peuvent être vite récupérées et permettent de réduire les coûts reliés aux activités qui consomment beaucoup d'énergie.

Étude de cas n° 6 — Four de boulangerie

Lorsqu'on a installé un nouveau four à la boulangerie Moderne & Roussin à Thetford Mines (Québec), on a décidé d'ajouter un échangeur, à échanges air/air sur le devant du tuyau d'échappement afin de récupérer la chaleur. Il s'agit d'un four à chauffe directe, qui peut cuire 4200 pains d'une livre par heure. Les 53 brûleurs "Tri-Zone" fonctionnent au propane.

L'échangeur thermique, de type Z-Air, a une capacité de 945 L/s. Les produits de combustion (N_2 + CO_2 + H_2O) entrent à une extrémité, au rythme de 700 L/s et à une température de 120 °C. Ils ressortent à une température variant entre 32 °C et 107 °C, selon le rythme d'admission et la température de l'air frais. En été, l'air frais de l'extérieur est admis à l'extrémité opposée de l'échangeur thermique au rythme de 125 L/s et est préchauffé à 116 °C avant de servir d'air de combustion pour la turbine et les brûleurs du four. En hiver, l'air frais de l'extérieur (dont la température est souvent inférieure à – 18 °C) est admis dans l'échangeur au rythme de 950 L/s et est chauffé à une température d'au moins 54 °C; cet air sert à chauffer les locaux du service d'expédition. Un régulateur de température et un thermostat de limite minimale (installé dans la conduite) sont branchés en série et régissent le fonctionnement du ventilateur et du registre actionné par un moteur.

On récupère, pour l'air de combustion (été), $4{,}75 \times 10^4$ kJ/h d'énergie, et pour le chauffage d'hiver $2{,}3 \times 10^5$ kJ/h d'énergie. Des taux maximaux de récupération de plus de $3{,}2 \times 10^5$ kJ/h ont été atteints durant l'hiver. On a par ailleurs obtenu les résultats suivants en mesurant la consommation de propane à l'aide d'un compteur à gaz installé sur le four : 975 kJ/kg de pain lorsque l'échangeur thermique fonctionnait, et 1000 kJ/kg de pain, lorsqu'il était arrêté. Les tests effectués en rapport avec le taux de chauffage maximal des brûleurs n'ont pas révélé de différence mesurable du taux de chauffage, en présence et en l'absence d'un échangeur thermique.



18. Système de récupération des fours de boulangerie

Le prix de l'échangeur thermique est de 2300 $; si l'on ajoute la canalisation, le ventilateur, l'isolation et l'installation, le système coûte au total 5000 $. On a fini de l'installer en avril 1982. On estime les économies

de propane et de mazout à 2125 $ par année. La période de remboursement simple serait alors d'environ 2 ans ½, compte tenu d'une durée de fonctionnement de 50 heures par semaine. La société est très satisfaite du rendement de l'échangeur thermique après la première année de fonctionnement. Ajoutons aux avantages déjà mentionnés que l'air d'appoint permet de chasser l'humidité et la condensation sur les murs de l'édifice pendant l'hiver.

CONCLUSION

Les possibilités de récupération de la chaleur

Le rapport intitulé *Potentiel énergétique des groupements en cascade dans l'industrie canadienne*, rédigé par la firme Lalonde, Girouard, Letendre & Associés Limitée, pour le compte d'Énergie, Mines et Ressources Canada, révèle qu'en 1978 l'industrie de l'alimentation et des boissons a consommé 106 960 × 10^9 kJ, dont 22 475 × 10^9 kJ d'énergie thermique supérieure à 260 °C. Le rapport indique aussi que 12,5 % de l'énergie totale consommée par l'industrie de l'alimentation et des boissons pourrait pratiquement être récupérée grâce aux techniques actuelles de récupération de la chaleur. Il est à noter que ce rapport avait pour objet de déterminer le potentiel énergétique global des tous les flots de chaleur perdue par l'usine et non pas d'évaluer les possibilités de récupération de la chaleur à l'intérieur de l'usine. L'estimation que l'on a faite ne s'applique donc qu'à la chaleur récupérable utilisable à l'extérieur de l'usine qui la produit. Les possibilités de récupération de la chaleur, à l'intérieur même des usines, sont beaucoup plus considérables que ce qu'indique le rapport.

Les auteurs du rapport estiment que 25 % de l'énergie consommée par les usines peut théoriquement être récupérée à leur pourtour et que 12,5 % de l'énergie consommée peut pratiquement être récupérée grâce à la technologie conventionnelle.

En 1980, les achats de carburant et d'électricité de l'industrie des aliments et des boissons se sont élevés à 422 007 000 $. On peut donc évaluer à 52 750 000 $ l'énergie thermique qu'il est possible, en pratique, de récupérer aux limites de l'usine avec l'aide de la technologie existante. Si elle n'équivaut qu'à 0,19 % de la valeur des expéditions de marchandises, elle représente malgré tout 0,6 % des dépenses autres que les matériaux et les fournitures. Comme l'argent investi dans les échangeurs thermiques peut généralement être récupéré sur une période d'environ 2 ans, les profits augmentent substantiellement pendant la durée de vie de l'équipement. Étant donné les avantages considérables qu'on peut retirer de la récupération de l'énergie thermique à partir des courants caloporteurs dans l'industrie des aliments et des boissons, il importe d'évaluer au plus tôt les applications de la nouvelle technologie de récupération de la chaleur. Cette évaluation doit porter à la fois sur les aspects techniques et économiques de la question et permettre d'établir des comparaisons avec d'autres formes d'investissement.